

# Syvästabilointi Tielaitoksen kohteissa

Osa 1: Toteutetut kohteet

Tielaitoksen  
selvityksiä

2/1999

Helsinki 1999

TIEHALLINTO  
Tie- ja  
liikennetekniikka



Tielaitoksen selvityksiä  
2/1999

## **Syvästabilointi Tielaitoksen kohteissa**

Osa 1: Toteutetut kohteet

ISSN 0788-3722  
ISBN 951-726-477-1  
TIEL 3200540

Oy Edita Ab  
Helsinki 1999

Julkaisua myy  
Tielaitos, kirjasto  
Telefax 0204 44 2652



**Tielaitos**  
**TIEHALLINTO**  
Tie- ja liikennetekniikka  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puhelinvaihde 0204 44 150

**Syvästabilointi Tielaitoksen kohteissa, osa 1. Toteutetut kohteet.** [Djupstabilisering i Vägverkets projekt, del 1. Förverkligade projekt.] Helsinki 1999, Tielaitoksen selvityksiä 2/1999. 39 sivua.  
ISBN 951-726-477-1. TIEL 3200540.

**Asiasanat**      Syvästabilointi, laadunvalvonta

## **TIIVISTELMÄ**

Julkaisun tarkoituksena on esitellä Tielaitoksen tähänastiset kokemukset erilaisista syvästabilointiratkaisuista ja niiden antamista opetuksista. Tarkoituksena on muun muassa antaa suuntaviivoja tulevalle kehitystyölle.

Suurin osa syvästabiloinneista on ollut nykyluokittelun mukaan puolilujia pilarointeja matalahkojen tiepenkereiden pohjanvahvistuksena. Mitoituskäytännössä on ollut vaihtelua ja monissa asioissa on ollut ylimääräistäkin varmuutta. Myötääviä pehmeitä pilareita on suunniteltu muutamaaan kohteeseen, mutta mitoituksessa olevien varmuuksien takia nekin ovat käytännössä toimineet suunniteltua painumattomampina. Määrämittaisia pilarointeja on mitoitusmenetelmien keskeneräisyydestä huolimatta varovasti käytetty muutamissa kohteissa, etenkin siirtymärakenteissa, ja kokemukset ovat rohkaisevia. Lujia pilarointeja on käytetty muutamassa kohteessa. Yhdenkään penkereen perustamiseen tarkoitettua syvästabiloinnin ei tiedetä epäonnistuneen. Luiskien vahvistamisessa syvästabilointiratkaisun riskit ovat suuremmat ja myös epäonnistumisia on tapahtunut.

Laboratoriossa ja maastossa saavutettujen lujuuksien välisiä eroja ja niiden mahdollisia selityksiä on käyty läpi. Samoin on tarkasteltu mahdollisia parantamismahdollisuuksia muissa pohjatutkimuksissa.

Suunnitelmissa esitetty työtapa- ja lopputulosvaatimukset ja niiden toteutuminen käydään läpi. Yleisin on ollut käytäntö, että rakennuttaja esittää teettämiinsä tutkimuksiin perustuvat sideaine- ja työtapavaatimukset ja vastaa lopputuloksen lujuudesta. Menettelyn kehittämiseen liittyviä näkökohtia käydään läpi.

Tulevassa kehitystyössä esitetään erityistä huomiota kiinnitettäväksi syvästabiloitujen rakenteiden todellisen toimintatavan ja oikeiden mitoitusotaksumien nykyistä luotettavampaan selvittämiseen sekä laadunvalvontamenetelmien kehittämiseen.



**Deep stabilization in the projects of Finnish National Road Administration, part 1. Realized projects.** Helsinki 1999, Finnish National Road Administration. Report 2/1999. 39 p.  
ISBN 951-726-477-1. TIEL 3200540.

**Key words**      Deep stabilization, quality control

## **ABSTRACT**

The purpose of this publication is to introduce lessons of past experiences about deep stabilization solutions in Finnish road projects. One purpose among others is to give guidelines for future development.

Most deep stabilizations have been semi-hard columns in order to found rather low embankments. In dimensioning practice there have been variations and also extra safety in some factors. Yielding soft columns have been designed in some projects but due to safety in the dimensioning they have yielded much less than predicted. Cut-to-size columns have been conservatively applied in some cases in spite of incomplete dimensioning methods and the experiences are encouraging. Hard columns have been used in some projects. There have apparently been no failures with deep stabilizations in order to found embankments. In slopes the risks of the deep stabilization method are greater and there have been also failures.

Differences in the strengths achieved in laboratory and in real columns and their potential causes have been presented. Also potential improvements in other soil investigations for deep stabilization have been dealt with.

The requirements in the plan for the approaches and the final result and their practical control during the construction are dealt with. Most often the client expresses requirements for the binders and approaches and then answers for the strength achieved. Considerations about the development of the practice are dealt with.

In the future development work a special attention should be paid to the real function and the right dimensioning assumptions of stabilized structures and also the improvement of quality control methods.

## **Alkusanat**

Tämä selvitys kuuluu osana projektiin "Syvästabiloinnin kehittäminen". Tässä työssä (osassa 1) on koottu tiedot tähän mennessä toteutetuista Tielaitoksen syvästabilointikohteista ja niiden antamista opetuksista sekä esitetty suosituksia tulevan kehitystyön painopistealueista. Erikseen raportoidussa osassa 2 on tarkasteltu laadunvalvontatutkimusten tilastollista edustavuutta sekä tehty alustavia laadunalitusten riskitarkasteluja.

Työn ovat tehneet Antti Junnila Innogeo Oy:stä ja Markku Tuhola VTT Yhdyskuntatekniikasta. Tielaitoksen puolelta työtä ovat valvoneet Pentti Salo, Mikko Smura ja Jorma Immonen. Samaan työryhmään on kuulunut myös Harri Tanska Viatek Oy:stä, joka on laatinut erikseen raportoidun osan 2 (Syvästabilointi Tielaitoksen kohteissa, Osa 2: Laadunvalvontatutkimukset ja laadunalitusten vaikutus).

Tietojen kokoamiseksi on haastateltu useita syvästabilointien suunnittelun ja toteutuksen asiantuntijoita.

Tielaitos

Tie- ja liikennetekniikka

## Sisältö

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>9</b>
1.1 Syvästabilointiratkaisut	9
1.2 Syvästabilointiratkaisujen muutoksia	9
1.3 Todetut kehitystarpeet	10
<b>2 TARKASTELTAVAT RAKENTEET</b>	<b>11</b>
2.1 Tavanomaiset pilaroinnit	11
2.2 Lujat pilaroinnit	12
2.3 Myötäävät pilaroinnit	12
2.4 Määramittaiset pilaroinnit	13
2.5 Luiskastabiloinnit	16
2.6 Massasyvästabiloinnit	17
<b>3 SUUNNITTELU JA SUUNNITTELUVAIHEEN TUTKIMUKSET</b>	<b>17</b>
3.1 Tavanomaisen pilaristabiloinnin mitoitusotaksumat	17
3.2 Muiden ratkaisujen mitoitusotaksumat	20
3.3 Stabiloituvuustutkimukset	20
Laboratoriotutkimukset	20
Koestabiloinnit maastossa	21
Laboratoriotutkimusten ja koestabilointien vastaavuus	21
Havaintoja eri maalajien stabiloituvuudesta	23
Sideainemäärät	23
3.4 Muut maaperätutkimukset	24
Maakerrosrajat ja pilaripituudet	24
Maan lujuus- ja painumaominaisuudet	24
Muut tutkimukset	25
Tutkimussuosituksia	25
<b>4 TOTEUTUS</b>	<b>26</b>
4.1 Laatuvaatimusten ja työselitysten esitystapa	26
4.2 Nousunopeus, kierrosluku ja kierrosnousu	26
4.3 Syöttöpaine ja ilmamäärä	27
4.4 Sideaineen syöttömäärän tarkkuus	27
4.5 Pilarien paikalleenmittaus ja sijaintitoleranssit	28
4.6 Määrien toteutuminen	28
4.7 Työn aikana havaitut vaikeudet	29
4.8 Työtapojen työnaikainen dokumentointi ja valvonta	29
4.9 Kokemuksia pilarin halkaisijan merkityksestä	29

---

4.10 Toteutuksen aikaiset johtopäätökset	30
5 LAADUNVARMISTUS	31

---

5.1 Lujuustarkkailu, työtapatarkkailu vai molemmat	31
5.2 Suunnitelmassa esitetyt lujuusvaatimukset	31
5.3 Laadunvalvonnassa käytetyt menetelmät	32
5.4 Toteutuksen aikaiset johtopäätökset lujuustuloksista	33
5.5 Laadunvalvonnan kehityssuuntauksia	33
5.6 Laadunvalvonnan luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä	34
Kairauksen pysyminen pilarissa	34
Kairan kärkiosa	34
Näytteenoton onnistuminen	34
5.7 Suositukset	35
6 RAKENNUUTTAMISMENETTELYT	35

---

6.1 Hinnoitteluperusteet	35
6.2 Lujuus- vai työtapavaatimukset	36
7 JÄLKIARVIOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET	37

---

LIITELUETTELO	41
---------------	----

---



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Syvästabilointiratkaisut

Syvästabilointi on otettu Tielaitoksen kohteissa käyttöön 1980-luvun alkupuolella ja menetelmä on siitä lähtien yleistynyt. Eniten on käytetty pilaristabilointia matalien tiepenkereiden perustamiseen. Massasyvästabilointien ensimmäiset käyttökokeilut tehtiin 1993.

Pilaristabiloinnissa pilarointikoneen vispilä upotetaan pilarin suunnitellun alapään tasoon ja sideaineen syöttö ja pilarin sekoitus aloitetaan vispilää ylös vedettäessä. Pilarin halkaisijana käytettiin 1980-luvulla yksinomaan 500 mm, mutta nyt ovat yleisimpiä halkaisijaltaan 600-800 mm pilarit. Pilarien maksimipituus nykyisellä kalustolla on noin 18-20 metriä.

Massasyvästabiloinnissa sekoituskoneen kärkeä liikutetaan stabiloitavassa maakerroksessa sekä pysty- että vaakasuunnassa. Sekoitustyön tasaisuuden varmistamista on vielä kehitettävä. Massasyvästabiloinnissa nykyisen kaluston ulottuma rajoittaa maksimisyvyyden noin 5 metriin. Massasyvästabilointia on käytetty onnistuneesti myös turpeessa.

## 1.2 Syvästabilointiratkaisujen muutoksia

Ensimmäinen Suomessa toteutettu syvästabilointi oli Itäkeskuksessa vuonna 1976 rakennettu koepenger. Samalla alueella perustettiin 1977 päiväkotitilarakennuksen varaan.

Sideaineena käytettiin aluksi yksinomaan kalkkia. Sementillä tehtiin ensimmäisiä kokeiluja 1980-luvun puolivälin jälkeen lupaavien laboratoriotulosten rohkaisemina. Maastossa sementillä saavutetut lujuudet jäivät huomattavasti laboratoriolujuuksia huonommiksi ja pilarit olivat hauraita ja epähomogeenisia. 1980-luvun loppupuolella otettiin käyttöön kalkin ja sementin sekoitus, joka on siitä lähtien ainakin tähän asti ollut yleisin sideaine. Alkuvaiheessa ainoa työteknisesti mahdollinen seossuhde oli 1:1, mutta nykyisin voidaan käyttää myös muita sekoitussuhteita. 1990-luvun aikana on tullut käyttöön uusia sideaineita, joissa em. aineiden lisäksi voi olla mm. jauhettua masuunikuonaa, lentotuhkaa ym. teollisuuden sivutuotteita. Tarkka koostumus on monissa tapauksissa ollut vain sideaineen toimittajan tiedossa.

Aina 1990-luvulle asti lähes kaikki Suomessa toteutetut syvästabilointikohteet ovat olleet nykyluokittelun (Syvästabiloinnin mitoitusohje) mukaan puolilujia pilarointeja. Pilarien tavoiteltu leikkauslujuus on useimmissa tapauksissa ollut lähellä suuruusluokkaa 75 kPa. Pilareita ei ole näissä tapauksissa suunniteltu toimimaan myötäävinä, joskin vakiintuneiden mitoitusperusteiden puuttuessa varmuus myötörajan ylitystä

vastaan on ollut vaihteleva. 1990-luvulla on uusien sideaineiden ja tarkempien tutkimusten ja suunnittelun myötä pilarien keskimääräinen mitoituslujuus kasvanut ja siihen on tullut enemmän vaihtelua. Aikaisemmasta poikkeavalla tavalla mitoitettavat ratkaisut, kuten lujat pilarit ja myötäävät pilarit, ovat tulleet käyttöön. Tällöin myös menetelmän soveltuvuusalue on laajentunut aikaisemmin tyypillisestä 1-2,5 m korkuisten penkereiden perustamisesta.

Humuspitoiset savet olivat aluksi syvästabilointimenetelmän soveltuvuusalueen ulkopuolella, sillä niitä ei pelkällä kalkilla pystytty lujittamaan. Kalkkisementti soveltuu myös liejuisille saviille, mutta varsin huonosti liejulle eikä lainkaan turpeelle. Viimeksi mainitut maalajit stabiloituvat parhaiten uusilla sideaineseoksilla, joskin myös pelkällä sementillä on joskus saatu kohtalaisia tuloksia.

Pilarin halkaisijana käytettiin aikaisemmin yksinomaan 500 mm. Ensimmäiset 600 mm pilarit tehtiin tiettävästi 1991 ja muutamassa vuodessa 500 mm pilarit jäivät lähes pois käytöstä, sillä 600-800 mm pilarit ovat yleensä taloudellisempia.

Pilarien teknisesti mahdollinen maksimipituus on ollut aikaisemmin noin 15 m ja nykyisin noin 20 m. Varsinkin aikaisemmin suhtauduttiin melko epäilevästi yli 10-12 m pituisten pilarien mielekkyyteen ja syvemmät pilaroinnit olivat harvinaisia. Myös taloudelliselta kannalta syvästabiloinnin kilpailukyky heikkenee pilaripituuden kasvaessa, joten teknistä maksimia lähellä olevat pilaripituudet ovat käytännössä harvinaisia.

### 1.3 Todetut kehitystarpeet

Syvästabilointien mitoitusperusteet, ennakkotutkimukset, sideainetyypit, sideainemäärät, työtekniikka ja laadunvalvontatavat ovat koko ajan olleet voimakkaassa kehitysvaiheessa. Yhtenäisten menettelytapojen puutteesta huolimatta epäonnistuneita syvästabiloituja rakenteita Tielaitoksen töissä on vain kaivantoluiskien stabiloinneissa. Epätaloudellisen varmasti mitoitettuja kohteita sekä syvästabilointivaihtoehtojen tarpeettomia "varmuuden vuoksi" hylkäämisiä lienee paljon.

Tähän mennessä todetut kehitystarpeet voidaan ryhmitellä esimerkiksi seuraavasti:

- Mitoitusmenetelmien yhtenäistäminen totunnaistenkin ratkaisujen osalta.
- Uusien, aikaisempaa taloudellisempien, mitoitusmenetelmien saaminen käyttöön (myötäävät pilarit, määrämittaiset pilarit, pengerspaalutusta korvaamaan aikaisempaa lujemmat pilarit).



- Sekoitustyön ja sideaineen syötön tasalaatuisuuden parantaminen ja ko. asioiden seurannan systematisoiminen.
- Laadunvalvontamenetelmien tarkkuuden ja luotettavuuden parantaminen.
- Rakennuttamismenettelyn kehittäminen.

## 2 TARKASTELTAVAT RAKENTEET

### 2.1 Tavanomaiset pilaroinnit

Termi "tavanomaiset pilaroinnit" puoltaa tässä paikkaansa, sillä ylivoimaisesti suurin osa toteutetuista syvästabilointiratkaisuista on seuraavankaltaisia:

- Matalahko penger on perustettu pilaroinnin varaan.
- Pilarin leikkauslujuutena on käytetty noin 60-120 kPa.
- Pilari on yleensä kantanut koko kuorman omalla puristuslujuudellaan ilman saven antamaa sivutukeakin.
- Pilarit on mitoitettu bruttokuormaperiaatteella.
- Pilarin myötölujuutta ei yleensä ole ylitetty penkereen painosta (joidenkin suunnittelijoiden käyttämä vaihtoehto: pilarille on sallittu murtokuorma, mutta tällöin on liikennekuorma otettu huomioon).
- Pilarit on ulotettu savikerroksen alarajaan siten, ettei pilarien alapuolella ole ollut odotettavissa painumia
- Pilaroinnin leveys tien poikkisuunnassa on tavanomaisissa tapauksissa (vakavuus ei ole kriittinen ja pyritään siihen, että tie on koko leveydeltään yhtä painumaton) yleensä määritetty esimerkiksi 2:1-säännöllä tai "silmillä".

Nämä mitoitusperusteet ovat varsin todennäköisesti johtaneet tarpeettomankin varmoihin ratkaisuihin. Yhtään epäonnistunutta Tielaitoksen kohdetta ei ole tiedossa. Joidenkin edellä mainittujen mitoitusperusteiden vaikutusta voidaan arvioida seuraavasti:

- Pilarin lujuus lienee yleensä tulkittu varovaisesti ja useimmilla sideaineilla lujuus varsinaisen lujittumiseen varatun ajan jälkeen on vielä kasvanut.
- Pilarin epähomogeenisuus voi vaikuttaa myös toiseen suuntaan, mutta monet tekijät kumoavat kielteistä vaikutusta.
- Pilaria ympäröivän saven antaman sivutuen huomioon ottaminen parantaa mitoituksen taloudellisuutta normaalikonsolidoituneessa savessa yleensä noin 5-15 %.
- Bruttokuormaperiaate on ollut liikaa varovaisuutta. Asiaa voisi tarkastella nykyisen Syvästabiloinnin mitoitusohjeen TIEL 3200465 perusteella käyttäen pilaria ympäröivälle savelle ylikonsolidoituneen alueen moduuleja. Säästö mitoituksessa voi olla luokkaa 15-30 %.

- Pilaroinnin tarpeellista leveyttä tien poikkisuunnassa voitaisiin tarkastella numeerisilla menetelmillä nykyistä tarkemmin. Luultavasti käytetyistä leveyksistä suuri osa on suunnilleen sopivia ja suuressa osassa lienee parin ylimääräisen pilaririvin verran varmuutta. Mahdollinen säästö olisi prosentuaalisesti suurin kapeahkoilla penkereillä.
- Pilarien kuormittaminen yli myötörajan on ruotsalaisten kokemusten ja myös ohjeen TIEL 3200465 mukaan mahdollista ja mahdolliset painumat tapahtuvat useimmiten muutamassa kuukaudessa.
- Määrämittaisilla pilareilla olisi joskus ollut saavutettavissa kymmenien prosenttien kustannussäästöjä, mutta mitoitusperusteiden keskeneräisyys on rajoittanut tämän ratkaisun käyttöä.

## 2.2 Lujat pilaroinnit

Lujalla pilarilla tarkoitetaan Syvästabiloinnin mitoitusohjeen TIEL 3200465 mukaan pilareita, joiden leikkauslujuus ylittää 150 kPa ja jotka kantavat kaiken kuorman omalla puristuslujuudellaan.

Lujia pilareita on käytetty 1993 Kauklahdessa kevyen liikenteen väylällä sillan tulopenkereessä. Sideaineena käytettiin sementtiä 140 kg/m<sup>3</sup>. Pilareista otettujen näytteiden leikkauslujuudet olivat keskimäärin 650 kPa ja minimiarvot 320 kPa. Tavoitearvo oli ollut noin 250 kPa. Lujia pilareita on käytetty myös Kehä III:n ja Turunväylän eritasoliittymässä Bembölessä 3-4 m korkean penkereen perustamiseen. Pilarien halkaisija oli 800 mm ja sideaineena käytettiin sementtiä 200 kg/m<sup>3</sup>. Leikkauslujuustavoite oli 270 kPa ja CPT-kairauksilla todettiin saavutetuksi lujuudeksi 280 kPa. Lujia pilareita on koeluontoisesti käytetty myös Kirkkonummen koepenkereiden perustamiseen 1996.

## 2.3 Myötäävät pilaroinnit

Myötäävän pilaroinnin mitoitus on ruotsalaisen käytännön ja myös Syvästabiloinnin mitoitusohjeen mukaan seuraavankaltainen:

- Pilarin leikkauslujuus on alle 100 kPa.
- Vakavuus tarkistetaan riittäväksi. Tarvittaessa käytetään vastapenkereitä tai pengerkevennystä.
- Kuorman oletetaan jakautuvan osaksi pilareille ja osaksi pilareita ympäröivälle savelle muodonmuutosmoduulien suhteessa.
- Lisäksi se osuus pilareille tulevasta kuormasta, joka ylittää pilarien myötörajan (oletetaan olevan esimerkiksi 65 % tai 70 % murtokuormasta), menee saven kannettavaksi.



- Saven kannettavaksi menevä kuorma aiheuttaa konsolidaatiopainumaa, jonka pilarien pystyjojamainen vaikutus nopeuttaa yleensä muutamissa kuukausissa tapahtuvaksi.

Ensimmäinen Suomessa Tielaitoksen töissä tarkoituksellisesti toteutettu myötäävän pilaroinnin käyttökohde on Kevolan kohta valtatiellä 1. Kohde suunniteltiin voimassaolevan Syvästabiloinnin mitoitusohjeen TIEL 3200465 mukaan ja rakennettiin 1997. Konsolidaatiopainumia ei juuri tapahtunut, vaan pilarit toimivat käytännössä myötäämättöminä puolilujina pilareina seuraavista syistä:

- Stabilointi oli mitoitettu laboratoriokokeiden perusteella.
- Sideaineratkaisu  $156 \text{ kg/m}^3$  kalkkisementtiä oli määräytynyt humuspitoisen savikerroksen mukaan, joka maastossa lujittui paremmin kuin laboratoriossa (ks. myös kohta 3.3).

Seuraavassa selostetaan eräs olosuhteiden pakosta tapahtunut myötäävän pilaroinnin tahaton soveltaminen, joka oli täysin onnistunut.

Valtatien 1 välin Kurkela-Raadelma rakentamisessa vuonna 1994 oli uuden valtatie ja vanhan valtatie välisellä poikittaisyhteydellä Kurkelantiellä siirtymä syvästabiloinnilta melko syvälle massanvaihdolle. Alkuperäinen suunnitelma oli, että syvästabiloinnin massanvaihtoon rajoittuva reunaosa tehtäisiin vasta massanvaihdon jälkeen, koska luiskin tiedettiin stabiloinnista huolimatta olevan sortumavaarassa, jos työ tehtäisiin toisessa järjestyksessä. Toteutuksen yhteydessä kuitenkin syvästabilointi tehtiin kerralla kaivannon reunaan asti ja kun kaivua ja välitöntä täyttää stabiloidun luiskin läheisyydessä ei tehty riittävän varovasti jyrkkiä korkeuseroja välttämällä, stabiloitu luiska sortui kaivantoon. Korjaustoimenpiteenä tehtiin kaivu ja louhetäyttö liukupinnan tasoon asti. Tällöin jäljelle jääneet pilarien alaosat kuormittuivat runsaasti yli myötörajan. Kevennyksellä saavutettava hyöty arvioitiin niin epävarmaksi, että kevennys päätettiin tehdä vain, jos ratkaisu osoittautuisi painuvaksi. Painumamittausten mukaan pengeri painui muutaman kuukauden aikana alle 100 mm ja painumat lakkasivat tämän jälkeen.

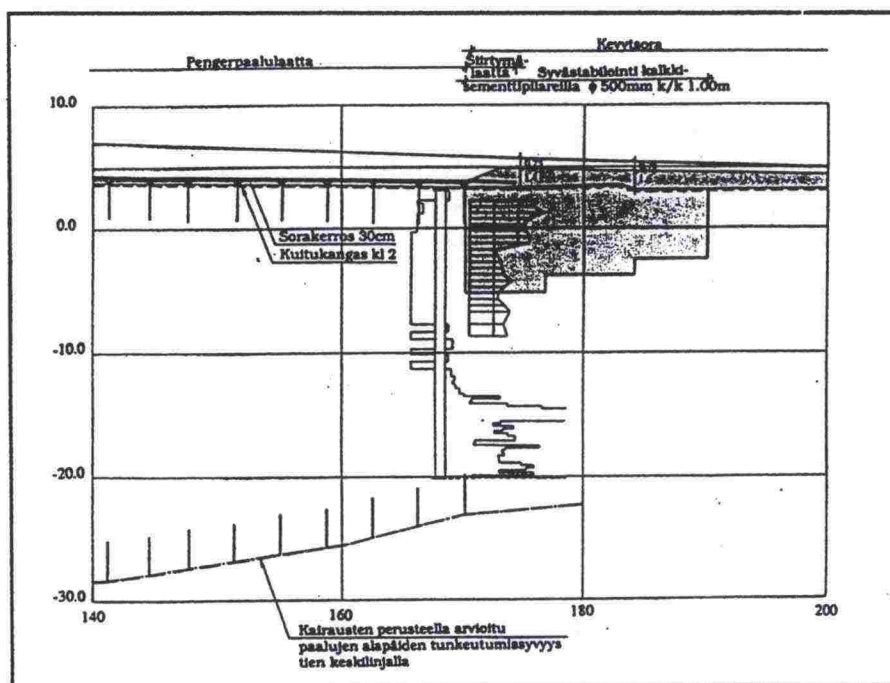
## 2.4 Määrämittaiset pilaroinnit

Määrämittaisten pilarien käyttökohdeet voidaan ryhmitellä seuraavasti:

- siirtymärakenteet
- määrämittaisen pilaroinnin ja kevennyksen muodostama yhdistelmä rakenne muutenkin kuin siirtymärakenteissa
- lähes kuivakuorettoman syvän pehmeikön pintaosien lujittaminen lyhyillä pilareilla

- koko pehmeikköalueen kattavat määrämittaiset pilaroinnit kuvassa 4 esitettyyn tapaan.

Siirtymärakenteissa määrämittaisten pilarien käyttö alkaa olla vakiintuneinta eikä yhdestäkään epäonnistuneesta kohteesta ole kokemuksia. Siirtymäpilaroinnissa onkin se olennainen ratkaisun riskejä pienentävä piirre, että eniten painuvat kuivakuoren alapuoliset kerrokset lujitetaan painumattomiksi toisin kuin vaihtoehtoisessa ratkaisussa kevennyksessä, jossa nämä kerrokset voivat pientenkin painumamitoitusvirheiden takia painua merkittävästi. Kuvassa 1 on esitetty porrastettujen pilarien yhdistelmä rakenne kevennyksen kanssa. Pilarien lyhentäminen porrasmaisesti on valittu siksi, että se lienee toteutuksen kannalta hiukan yksinkertaisempaa kuin jokaisen pilaririvin ulottaminen eri tasoon ja ero painumaviivan muodossa on esimerkkilaskelmin helppo todeta mitättömäksi.

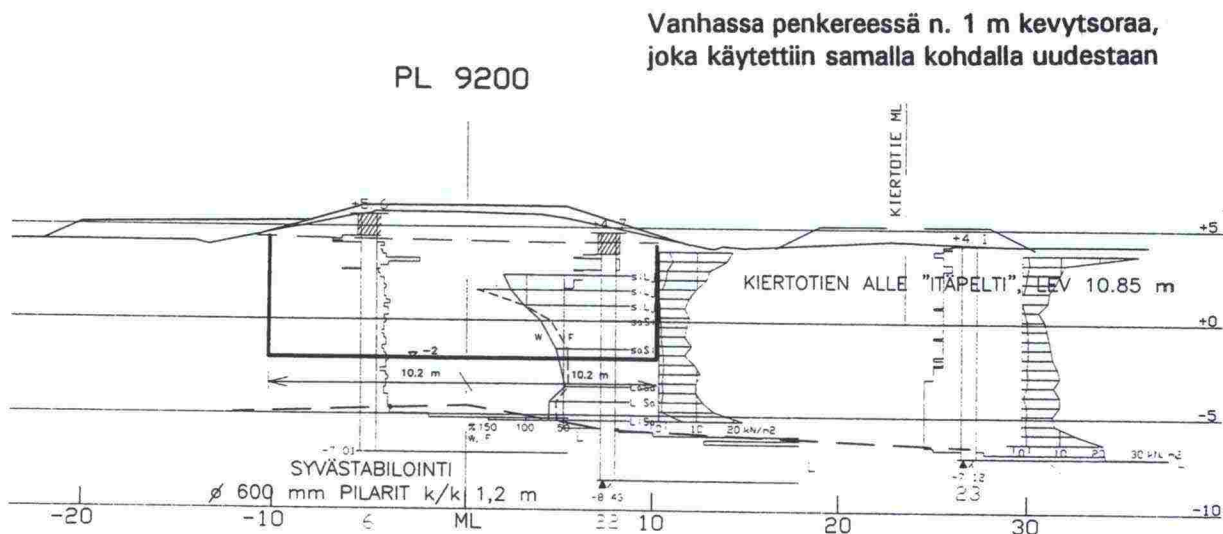


Kuva 1.

Kirkkonummen eritasoliittymä, Helsinkiin päin johtava ramppi R3. Porrastetun pilaroinnin ja kevennyksen yhdistelmä siirtymärakenteena. Suunniteltu 1988, rakennettu 1990 ja toiminut hyvin. Vielä varmempaa olisi ollut ulottaa paalulaattaan rajoittuvat pilarit saven alarajaan asti, mutta ko. aikaan suhtauduttiin epäillen syvien pilarien onnistumiseen.

Kuvassa 2 on esitetty erikoistapaus määrämittaisen pilaroinnin ja kevennyksen yhdistelmästä. Ratkaisun mitoitettiin tulevan lähes painumattomaksi vanhan tiepenkereen aiheuttaman kuormituksen ja kevennyksen yhteisvaikutuksesta. Tässä tapauksessa ratkaisun teki taloudellisesti mielekkääksi se, että kevytsora saatiin vanhaa pengertä

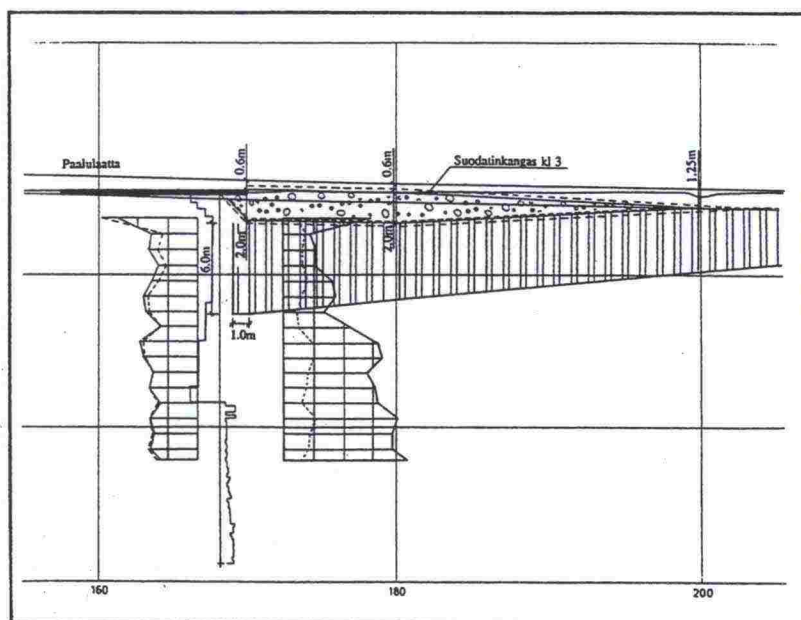
purettaessa eikä sille ollut tiedossa käyttöä muissa lähiseudun kohteissa. Muussa tapauksessa tavanomainen saven alarajaan ulotettu pilarointi olisi ollut edullisempi.



Kuva 2.

Sortumavaarassa olleen tiepenkereen korjaus valtatiellä 7 Haminasta 8 km itään 1998. Määrämittaisen pilaroinnin ja kevennyksen yhdistelmä.

Kuvassa 3 on esitetty lyhyiden pilarien käyttö lähes kuivakuolettoman pehmeikön yläosan lujittamiseen. Rakenne on toiminut hyvin.



Kuva 3.

Kantatie 40, Turun ohikulkutie, Topinojan eritasoliittymän ramppi R2, rakennettu 1992. Kevennyskiilalla on periaatteessa nolattu nettokuormitus, mutta lisävarmistuksena on pehmeimmät pintakerrokset lujitettu lyhyillä kalkkisementtipilareilla.







syvästabiloinneista aiheutunut saven häiriintyminen, jonka jälkeen ei alkuperäinen lujuus ollut vielä puolessa vuodessa palautunut. Hertsbyn vesistö sillan tulopenkereissä Sipoossa 1996 jokilaakson jo sellaisenaan kriittistä vakavuutta parannettiin isoläpimittaisista pilareista tehdyillä seinämillä.

Syvästabiloinnin käyttö luiskien vahvistamiseen on nykykäsityksen mukaan epävarma menetelmä, sillä lopputuloksen laadunvaihtelut kostautuvat herkästi luiskan vakavuudessa ja riittävän varmaksi mitoitettu syvästabilointi saattaa olla taloudellisesti kilpailukyvytön. Nykysuositusten mukaan varmuuskertoimet tulee laskea käyttäen liukupinnan eri osissa eri lailla redusoituja lujuuksia ja pilareista tulee muodostaa yhtenäisiä seinämiä, kun niillä tavoitellaan luiskan vakavuuden oleellista parantamista.

## **2.6 Massasyvästabiloinnit**

Massasyvästabilointi on toteutettu vuonna 1993 rakennetulla Kehä III:n Pihlajarinteen eritasoliittymän rampilla. Kohde olisi ollut toteutettavissa tavanomaisena massanvaihtona kaivamalla, mutta uudesta menetelmästä haluttiin käyttökokemus. Stabiloitava maa oli savea ja stabilointisyvyys oli enimmillään 4 m. Olennaisimpina havaintoina kokeilusta voidaan todeta, että sideaineen sekoitus todettiin epätasaiseksi (runsaimmin pinnassa ja pohjalla, vähemmän keskellä), mutta rakenteen toiminta tuntuu sallivan tämän vajavaisuuden. Rakenne painui lievästi muutaman kuukauden ajan, minkä jälkeen painumaa ei ole todettu tapahtuneen.

Valtatiellä 12 on toteutettu pilaristabiloinnin ja turpeen massasyvästabiloinnin yhdistelmä koerakenteessa 1993. Pilaristabiloinnin ja ohuemman pintakerroksen massasyvästabiloinnin yhdistelmä on toteutettu myös Kirkkonummen koepenkereessä 1996.

## **3 SUUNNITTELU JA SUUNNITTELUVAIHEEN TUTKIMUKSET**

### **3.1 Tavanomaisen pilaristabiloinnin mitoitusotaksumat**

Kohdassa 2.1 määritellyn "tavanomaisen pilaristabiloinnin" mitoituksessa ennen Syvästabiloinnin mitoitusohjeen ilmestymistä vuonna 1996 voidaan erottaa kaksi melko yleistä tarkastelutapaa, jotka johtavat pengerkorkeudesta riippuen eri tarkkuudella samaa suuruusluokkaa olevaan lopputulokseen:

- Pilareille sallitaan myötökuorma, jonka useimmiten on oletettu olevan 70 % murtokuormasta (ruotsalaisten ohjeiden mukaan 65-80 %).

Kuormituksena otetaan huomioon penkereen paino. Muuttuvat kuormat, kuten liikennekuorma jätetään huomiotta.

- Pilareille sallitaan jopa täysi murtokuorma, mutta liikennekuorma 10 kPa otetaan huomioon. Tämä johtaa korkeahkoilla penkereillä hiukan rohkeampaan mitoitukseen kuin ensin mainittu tapa.

*Taulukko 1. Pilarin  $s_u = 80$  kPa. Pilareita ympäröivä savi jätetään huomiotta. Myötökuorma 70 % murtokuormasta. Pilarit 600 mm.*

Pengerkorkeus (m)	k/k-väli (m), tapa 1	k/k-väli (m), tapa 2
1,0	1,26	1,23
1,5	1,03	1,06
2,0	0,89	0,95
2,5	0,80	0,87
3,0	0,73	0,80

Pilareita ympäröivän saven antama sivutuki on useimmissa tapauksissa jätetty huomiotta. Voidaan myös tulkita, että tällä on tietoisesti kompensoitu esimerkiksi viimeksi mainitun mitoitusavan sallimaa suurehkoa pilarikuormaa. Myös voidaan todeta, että saven antaman sivutuen huomioonottaminen tai huomiotta jättäminen voi vaikuttaa lopulliseen mitoitukseen vähemmän kuin pilarin lujuuden tulkintaepätarkkuus.

Vt3 Konhon kohdan syvästabilointien mitoituksessa 1995-96 päätettiin noudattaa soveltuvien osin ruotsalaisia ohjeita ja tehdä mitoitus totuttua perusteellisemmin mm. pilareita ympäröivän saven vaikutus huomioon ottaen. Syvästabilointikenttiä oli useampiakin, mutta seuraavassa esitetään havainnollisuuden vuoksi tiedot vain rampin E7R4 syvästabiloinneista:

- Pengerkorkeus 2,5-3,1 m ja lisäksi turvekerroksen osalla 1,8-2,5 m massanvaihto. Poiskaivetun turpeen paino (pieni) vähennettiin kokonaiskuormasta. Liikennekuorma 10 kPa otettiin huomioon.
- Pilarien leikkauslujuus 150 kPa, kimmomoduuli 30000 kPa.
- Penkereen stabiliteetin tarkistettiin olevan sellainen, ettei se ollut mitoituksessa määräävä.
- Saven kokoonpuristuvuusmoduuli normaalikonsolidoituneella alueella 500 kPa, ylikonsolidoituneella 4600 kPa.
- Kun kuorma jakautuu pilareille ja savelle moduulien suhteessa ja savi oletetaan normaalikonsolidoituneeksi, pilareille (niiden yläosalle) tulee kuormitusta 87-104 % murtokuormasta, jossa ei ole otettu huomioon



saven antamaa sivutukea, ja 75-89 % murtokuormasta, jossa alkutilanteen sivutuki on otetty huomioon. Tämä vastaisi vanhanaikaisen "kaikki kuorma pilareille ja savi unohdetaan"-mitoituksen mukaan sitä, että pilareille sallittaisiin kuormitusta 90-110 % murtokuormasta. Em. %-lukujen hajonta johtuu siitä, että laskelmat on tarkistettu pyöristettyjen k/k-välien mukaisiksi ja pilarikentän paalulaattaan rajautuvassa päässä varmuutta on haluttu hiukan enemmän kuin toisessa päässä.

- Erotus pilareille tulevan kuorman (pilarin yläpäässä 75-89 % murtokuormasta, syvemmällä hiukan vähemmän) ja myötörajaksi oletetun 65 %:n välillä voi laskennallisesti aiheuttaa konsolidaatiopainumaa rampin pituussuunnassa vaihdellen 90-230 mm, jonka kuitenkin pääteltiin todennäköisesti jäävän nollan tuntumaan pientenkin poikkeamien johdosta (joko savi vähänkin ylikonsolidoitunutta tai pilarit käyttäytyvät elastisesti vielä suuremmallakin kuormalla kuin 65 % murtokuormasta tai pilarien lujuus ylittää tavoitearvon). Mahdollinen konsolidaatiopainuma olisi hyvin ehtinyt tapahtua rakentamisaikana ennen tien avaamista liikenteelle.
- Pilarien halkaisija 700 mm ja k/k-väli 1,1-1,3 m.
- Syvästabilointi onnistui eikä painumia todettu.

Kun edellä kuvattua mitoitusta verrataan vuotta myöhemmin valmistuneen Syvästabiloinnin mitoitushjeen TIEL 3200465 mukaiseen, voidaan todeta:

- Pilarien leikkauslujuustavoite puolilujien pilarien ohjeellisen maksimiarvon mukainen 150 kPa ja suurempi kuin myötäävien pehmeiden pilarien ohjeellinen maksimiarvo 100 kPa.
- Liikennekuorma otettiin huomioon. Ohjeen mukaan se voitaisiin jättää huomiotta. Toiseen suuntaan, mutta vähemmän, vaikuttaa turvekerroksen painon käsittely.
- Pilarien periaatteessa sallittiin toimivan myötäävinä, mutta tiedostettiin, että ne todennäköisesti toimivat myötäämättöminä puolilujina pilareina.
- Kun kuormitusotaksumien erot otetaan huomioon, voidaan todeta, että tehty mitoitus vastaisi puolilujan pilaroinnin mitoitusta käyttäen myötökuormana 68-85 % murtokuormasta (Syvästabiloinnin mitoitushjeen mukaan yleensä 65-70 %, ruotsalaisten ohjeiden mukaan 65-80 %) taikka toisaalta myötäävän pilaroinnin käyttöä suositusta suuremmalla lujuusalueella.

Vt3 Toijalan osuudella Konhon eteläpuolella 1997 suunnitellut syvästabiloinnit muutettiin urakkakyselyvaiheessa urakoitsijan esityksestä pengerpaalutuksiksi. Oleellisin syy tähän oli syvästabilointitöissä vallinnut korkeasuhdanne, joka ainakin hetkellisesti nosti hintatasoa, ja paalutustöissä samaan aikaan vallinnut päinvastainen tilanne. Jonkin verran asiaan vaikuttivat myös seuraavat tekijät:

- Syvästabilointi mitoitettiin Syvästabiloinnin mitoitusohjeen TIEL 3200465 mukaan eli hiukan varovaisemmin kuin edellä on esitetty Konhon osalta. Pilareille tuli kuormaa 65-70 % murtokuormasta (vrt. Konhossa 68-85 %).
- Pilarointi mitoitettiin laboratoriokokeiden perusteella ja kalkkisementtipilarien leikkauslujuustavoite oli 120 kPa. Konhossa vastaava tavoite oli 150 kPa, joka oli varmistettu koepilaroinnilla, kun taas laboratoriotulokset olivat kalkkisementillä olleet aivan huonot.
- Moottoritien keskikaista oli leveämpi kuin Konhon osuudella. Pilarointi oli viety jatkuvana keskikaistan yli, mutta paalulaattaan onnistuttiin jättämään ko. kohdalle aukko. Herää kysymys, eikö saman olisi pitänyt onnistua syvästabiloinnillakin.
- Olosuhteet olivat muuten samankaltaiset kuin Konhossa, mutta turvekerroksen massanvaihto oli Toijalassa keskimäärin syvempi.

### 3.2 Muiden ratkaisujen mitoitusotaksumat

Määrämittaisten pilarien mitoitukseen liittyy olennaisia epävarmuustekijöitä. Siksi käytännön kohteissa on ollut olennaista tarkistaa, että suunnitellun rakenteen painumakäyttäytyminen pysyy hyväksyttävissä rajoissa seuraavien tekijöiden mahdollisiksi harkittavissa ääriarvotapauksissa:

- Jännitysten jakautuminen stabiloidusta vyöhykkeestä maapohjaan. Erityisesti kuvan 4 esittämässä tapauksessa, jossa kysymyksessä oli hyvin kapea jk+pp-tie, Syvästabiloinnin mitoitusohjeen kuvan 11 mukainen otaksuma johtaisi todellista suurempiin painumiin. Julkaisussa Tiepengerten siirtymärakenteet pehmeiköllä TIEL 3200248 ss. 27-31 on kuvattu tarkempia tarkastelutapoja.
- Painumien nopeutuminen pilarien alapuolelle jätettävässä savessa pilarien pystyjojamaisen vaikutuksen takia.
- Pilarien alapuolisen saven konsolidaatiotilan tulkinnan epätarkkuudet.

### 3.3 Stabiloituvuustutkimukset

#### Laboratoriotutkimukset

Useimmissa kohteissa on tehty laboratoriokeita stabiloituvuuden selvittämiseksi.

Näytteiden lämpökäsittelyssä ja säilytyksessä on TIEL:n laboratoriossa vuodesta 1995 alkaen (alkaen mm. hankkeista Kehä II ja Vt3 Konho) noudatettu seuraavaa käytäntöä:

- kalkilla 0-1 h +80 °C , 1-24 h +40 °C, 1-7 vrk +21 °C, tästä eteenpäin +7 °C



- kalkkisementillä 0-2 h +40 °C , 2-48 h +21 °C, tästä eteenpäin +7 °C
- sementtityypisillä (mm. Lohjan seokset) 0-48 h +21 °C, tästä eteenpäin +7 °C
- sammuttamatonta kalkkia sisältävillä seoksilla 0-2 h +35 °C , 2-48 h +21 °C, tästä eteenpäin +7 °C

Noin vuoteen 1995 asti käsiteltiin kaikkia näytteitä seuraavasti: 0-1 h +80 °C , 1-24 h +40 °C, tästä eteenpäin +20 °C.

Yleisimmin koekappaleet tutkitaan yksiaksiaalisella puristuskokeella. Tällöin määritetään puristuslujuus ja muodonmuutosmoduuli. Lisäksi tutkitaan stabiloidun näytteen tilavuuspaino. Koekappaleiden yleisin koestusikä on ollut 30 vuorokautta. Usein on määritetty myös 90 vrk lujuuksia. 1 vrk ja 7 vrk lujuuksien määrittäminen on vähentynyt, sillä niillä on harvoissa hankkeissa käytännön merkitystä. Lujittumisajan käyttäminen muuttujana on paikallaan, mutta sopivat koestusiät on syytä valita hankkeen erityispiirteet huomioonottaen.

Stabiloitujen koekappaleiden halkaisijana on käytetty useimmiten 50 mm, joskus 42 mm. Näytteen korkeus on ollut halkaisijaan nähden kaksinkertainen.

Sideaineen valintaa varten on yleensä tehty seuraavat laboratoriokokeet:

- maalaji, humuspitoisuus
- vesipitoisuus, hienousluku
- usein myös häiriintymättömän näytteen kartiokoe
- useimmiten tilavuuspaino
- joskus rikkipitoisuus (vaikuttaa erityisesti kalkin sopivuuteen sideaineeksi)
- joskus pH

### **Koestabiloinnit maastossa**

Koestabilointeja maastossa on tehty lähinnä isoissa stabilointikohteissa. Yleensä kysymyksessä on ollut laboratoriokokeilla saatujen tulosten varmistaminen ja tarkentaminen.

Poikkeuksellisesti on joskus voitu aikataulullisista syistä tehdä suoraan koestabilointi maastossa ilman edeltäviä laboratoriokokeita.

### **Laboratoriotutkimusten ja koestabilointien vastaavuus**

Vuonna 1994 on tehty yhteenveto laboratorio- ja kenttälujuuksien suhteesta Uudenmaan tiepiiriin siihenastisten kohteiden osalta. Kaikkien havaintojen keskiarvona voidaan esittää, että kenttälujuudet olivat

keskimäärin 33 % laboratoriolujuuksia paremmat. Taulukossa 2 on esitetty havaintojen jakaumaa. Suurin osa käytetyistä sideaineista on ollut kalkkisementtiä. Mukana on myös muutamia kohteita Finnstabin ja kalkin seoksella ja yksi pelkällä sementillä. Myöhemmin ovat yleistyneet uudet sideaineet, joilla saadaan usein laboratoriossa huomattavastikin parempia lujuuksia kuin kentällä.

*Taulukko 2. Maastossa mitattujen leikkauslujuuksien suhde laboratoriolujuuksiin Uudenmaan tiepiirin kohteissa v. 1994 mennessä /Uotinen/.*

$\tau_{pilari}/\tau_{laboratorio}$	Tuloksia ( kpl )	Tulosten prosentuaalinen osuus kaikista tuloksista ( % )
< 75 %	3	15
75 % ... 125 %	8	40
> 125 %	9	45

Valtatiellä 3 Konhon kohdalla tehtiin 1996 melko laaja ja usealla tavalla koestettu koepilarointi useita eri sideaineita (kalkki + sementti, kalkki + Finnstab, V15, KH3) käyttäen. Kenttälujuudet olivat kalkkisementillä 8-10-kertaiset erittäin huonoihin laboratoriolujuuksiin nähden ja muilla sideaineilla noin 1,5-2-kertaiset laboratoriolujuuksiin nähden. Koepilaroinnin perusteella soveltuviksi sideaineiksi arvioitiin kalkkisementti ja V15 (10 % pienemmällä määrällä kuin edellinen). Kohde toteutui kalkkisementillä.

Turun ohikulkutiellä Allastien kohdalla 1988 tehdyssä koepilaroinnissa ei maasto- ja laboratoriolujuuksilla ollut systemaattista eroa, mutta maastolujuuksien hajonta oli hyvin suurta.

Kirkkonummen koestabiloinneissa vuonna 1996 todettiin saavutetuissa kenttälujuuksissa huomattavan selkeä riippuvuus käytetystä sekoitustehosta. Yhteenvedona ko. kohteen tuloksista esitettiin, että laboratoriolujuus tulisi kierrosnoususta ja terätyypistä riippuen kertoa kertoimella 0,15...1,0.

Tähänastisista kokemuksista voidaan esittää seuraavia johtopäätöksiä, joihin havaintojen vähyyden ja ristiriitaisuuksien takia voidaan suhtautua kriittisestikin:

- Kalkkisementillä on saavutettu laboratoriolujuuksiin nähden erityisen hyviä kenttälujuuksia, kun saven vesipitoisuus on ollut hieman yli

- 100 % ja humuspitoisuus luokkaa 2-4 % (Kehä III Hakunila, Vantaan kaupungin kadut, Vt3 Konho).
- Kenttälujuuksien alittaessa laboratoriolujuudet (kalkkisementillä) kysymyksessä on usein ollut lihava savi, jonka vesipitoisuus on ollut noin 70 %.
  - Saavutettaessa erityisen hyviä laboratoriolujuuksia tulos on syytä ennen mitoituksessa käyttämistä varmentaa koepilaroinnilla, varsinkin jos ko. sideaineen käytöstä kenttäolosuhteissa ei vielä ole kokemusta.

### **Havaintoja eri maalajien stabiloituvuudesta**

Eri maalajeilla ja sideaineilla saavutettavaa lujittumista on tarkasteltu mm. Uotisen 1994 laatimassa selvityksessä. Muutamia suuntaa-antavia johtopäätöksiä on esitetty seuraavassa:

- Alle 2 % humusta sisältävillä lihavilla savilla saavutettavat keskimääräiset lujuudet pienenevät vesipitoisuuden kasvaessa. Lujuuksien hajonta on varsinkin kalkkipohjaisilla sideaineilla suurinta lihavilla savilla, joiden vesipitoisuus on 48-73 % (joskus hyvä lujittuminen vähälläkin sideaineella). Suuremmilla vesipitoisuuden arvoilla lujuus on selkeämmin riippuvainen sideainemäärästä.
- Laihat savet lujittuvat jonkin verran heikommin kuin lihavat savet, joilla on sama vesipitoisuus.
- Humuspitoiset savet lujittuvat pelkällä kalkilla hyvin huonosti, kalkkisementillä paremmin ja sementillä tai "uusilla" sideaineilla vielä paremmin. Sideaineen määrän ja lujuuden välillä on selvä riippuvuus, ei kuitenkaan niin jyrkkä kuin savilla, joiden humuspitoisuus on alle 2 % ja vesipitoisuus yli 100 %.
- Pelkkää kalkkia käytettäessä sideaineen määrän lisääminen ei tietyn rajan jälkeen yleensä anna lisälujuutta. Muilla sideaineilla ei vastaavaa rajaa ole todettu.

Turpeen stabilointi on tähän mennessä ollut lähinnä koeluontoista. Tarvittavat sideainemäärät ovat selvästi suurempia kuin savimaalajien stabiloinnissa käytettävät. Turpeen lujittamisessa on tuloksia saatu mm. sementtipohjaisilla sekä Finnstabilia sisältävillä sideaineseoksilla.

Yhteenvetona voidaan todeta, että maaperätutkimuksissa tulee kiinnittää erityistä huomiota humuspitoisten kerrosten toteamiseen, sillä sideaineiden soveltuvuus, tarvittava sideainemäärä ja saavutettava lujuus voivat muuttua huomattavasti esimerkiksi maalajin muuttuessa liejuisesta savesta liejuksi tai liejusta turpeeksi.

### **Sideainemäärät**

Pilareissa käytetyt sideainemäärät olivat 1980-luvulla yleensä 70-125 kg/m<sup>3</sup>. Sideainemäärät ovat vuosien mittaan keskimäärin kasvaneet ja



niiden hajonta on myös kasvanut. Nykyisin tyypillisiä sideainemääriä ovat 100-200 kg/m<sup>3</sup>. Sideainemäärissä voidaan katsoa olevan myös suunnittelijakohtaisia tottumuseroja. Sideainemäärien kasvun myötä saavutetut lujuudet ovat myös kasvaneet ja keskimäärin ottaen kehitys lienee ollut kokonaisuuden kannalta taloudellista. Toisaalta kasvaviin lujuuksiin aikaisempaa suuremmilla sideainemäärillä on jossain määrin hämärtänyt pilaristabiloinnin filosofian ymmärtämistä ja johtanut tarpeettomaan paalumaisuuden tavoitteluun.

Kun sideainemäärät ovat kasvaneet ja sideaineen osuus pilaroinnin kokonaiskustannuksista on tullut aikaisempaa olennaisemmaksi, tämän pitäisi alentaa kynnystä erilaisiin erikoisratkaisuihin sideaineella saatavan hyödyn optimoimiseksi, kuten esimerkiksi erilaiseen sideainemäärään pilarin ala- ja yläosassa tai sideainemäärien porrastamiseen pilarikentittäin.

### 3.4 Muut maaperätutkimukset

#### Maakerrosrajat ja pilaripituudet

Pilarien tarvittava pituus on yleensä määritetty painokairausten perusteella ja melko karkealla tarkkuudella, yleensä pehmeiden kerrosten alarajaan. Tässä on parantamisen varaa pyrittäessä mahdollisimman lähelle taloudellisesti optimaalista stabiloitua rakennetta. Jos esimerkiksi stabiloitavaksi suunnitellun savikerroksen alaosa on lievästikin ylikonsolidoitunutta, voitaisiin pilareita käytännössä haitatta lyhentää. Toisaalta tämä jää hyödyttömäksi, jos asiaa ei pohdita myös toteutuksen kannalta, kuten seuraavassa esitetään.

Pilarimetrimäärät ovat yleensä enemmän tai vähemmän kasvaneet suunnitelmassa arvioiduista. Tähän todennäköisenä syynä on pilarien ulottaminen tavoitetasona usein olevaa saven alarajaa syvemmälle silloin, kun saven alla on maata, joka ei pilarointikoneen terää vauhdilla maahan upotettaessa selvästi poikkea pehmeästä savesta ja pysäytä maston liikettä. Tarkentamalla pohjatutkimuksia ja kiinnittämällä suunnitteluvaiheessa huomiota pilarien alapään tason määrittämiseen (maakerrosraja vai määrätaso) voidaan tässä saavuttaa säästöä.

Monissa tapauksissa maanpinnassa esiintyvien täytemaakerrosten laajuus ja laatu on ollut liian huonosti etukäteen selvitetty. Kiviset täytemaat muodostavat stabilointityölle merkittävän hankaluuden. Ne on yleensä kaivettava pois ennen stabilointityötä, sillä täytön pistemäinen läpäiseminen ei ole taloudellista.

### **Maan lujuus- ja painumaominaisuudet**

Maakerrosten lujuus- ja painumaominaisuuksien selvittäminen on yleensä painottunut vaiheeseen, jolloin syvästabilointia ei vielä ole ollut lopullisesti valittu pohjanvahvistusmenetelmäksi vaan pohjatutkimuksia on tehty useita mahdollisia ratkaisuja palvelevina. Tällöin maan lujuutta on tutkittu siipikairauksin ja painumaominaisuuksien selvittämiseksi on tehty ödometrikokeita.

Mitoitusmenetelmien ollessa yksinkertaistettuja kaiken kuorman pilarimaiseen kantamiseen perustuvia ei mitoituksessa yleensä olisi ollut saavutettavissa säästöä luonnontilaisen maan lujuus- ja painumaominaisuuksien tarkemmalla selvittämisellä. Maapohjan painumaominaisuuksilla, erityisesti mahdollisella ylikonsolidaatiolla, on enemmän merkitystä, kun tarkastellaan kuormituksen jakautumista osittain pilareille ja osittain niitä ympäröivälle maalle.

Määrämittaisia pilareita käytettäessä pilarien alapuolelle jätettävien maakerrosten painumaominaisuudet ovat erityisen tärkeä mitoituksen lähtötieto. Tällöin näytteenottoon ja ödometrikokeisiin on kiinnitettävä tavallista enemmän huomiota.

### **Muut tutkimukset**

Edellä esitettyjen lisäksi tarvitaan erikoistapauksissa mm. seuraavankaltaisia tutkimuksia:

- paineelliseen pohjaveteen liittyviä selvityksiä
- lähistön penkereiden ja kaivantojen vakavuusselvityksiä stabilointityöstä aiheutuvan tilapäisen häiriintymisen takia.

### **Tutkimussuosituksia**

Yhteenvedona edellä esitetystä voidaan todeta, että tähänastista enemmän tulisi pohjatutkimuksissa kiinnittää huomiota seuraavien kysymysten selvittämiseen:

- pilaripituus ja näiden tutkimusten tapauskohtainen riippuvuus siitä, mitä maakerroksia pilareiden alapäiden alle suunnitellaan jätettäväksi
- pilarointityötä vaikeuttavat täytöt ja niiden kivisyys
- uudempien ratkaisujen, kuten lujien, myötäävien tai määrämittaisten pilarointien yhteydessä ko. ratkaisun erityisvaatimukset.

Syvästabiloinnin pohjatutkimuksista on annettu tuoreimpia suosituksia julkaisussa Teiden pehmeikkötutkimukset TIEL 3200520.



## 4 TOTEUTUS

### 4.1 Laatuvaatimusten ja työselitysten esitystapa

Laatuvaatimuksissa ja työselityksissä on yleensä esitetty:

- pilarikenttien ja pilarien sijaintitoleranssit
- pilarien kaltevuustoleranssit
- sideaineen laatuvaatimukset
- sideaineen määrä ja sen sallitut poikkeamat
- pilarointikoneen kärjen nousunopeusvaatimukset tavallisimmin ilmaistuna sallittuna nousuna mm/r
- joskus muita työtekniikkaan liittyviä vaatimuksia, kuten esimerkiksi syöttöpaineen maksimiarvo, yleisluontoisia varoituksia tarpeettoman suuren ilmamäärän käyttämisestä jne.
- miten em. työohjeiden noudattaminen on osoitettava
- ainakin nykyisin pilarien lujuusvaatimus ja lujuuden hajontaan liittyviä vaatimuksia, tarvittaessa syvyystasoin eriteltyinä
- yhä useammin selvä ennakosuunnitelma, millä menetelmillä pilarien lujuusvaatimuksen täyttymistä seurataan
- joskus jo selkeästi valmiiksi päätetyt laadunvalvontakairausten tulkintaohjeet, kuten  $N_c$ -kertoimet
- ohjeita siitä, missä vaiheessa pilareille saa tulla täysi mitoituskuorma ja mahdollisia ohjeita vaiheittaisesta kuormituksen lisäämisestä tai työnaikaisesta ylikuormittamisesta
- joskus ohjeita pilarien välisen saven lujuuden palautumisen tarkkailusta.

### 4.2 Nousunopeus, kierrosluku ja kierrosnousu

Mm. Kirkkonummen koestabiloinneissa 1996 todettiin sekoitustyön tasalaatuisuuden ja pilarien lujuuden olevan erittäin selvästi riippuvaisia kierrosnoususta.

Vaatimukset määritellään tavallisimmin juuri sallittuna nousuna kierrosta kohti.

Aikaisemmin kierrosnousuna on yleisesti sallittu 20 mm/r, mikä vastaa 100 terätasokierrosta/m (kaksi terätasoa). Ensimmäisillä koneilla kierrosluku oli luokkaa 60 r/min. Tällöinkin sekoitustyö oli vain kolmasosan japanilaisista vaatimuksista (360 terätasokierrosta/m), mitä kuitenkin jossain määrin kompensoi Suomessa tuohon aikaan sideaineena käytetyn kalkin parempi diffuuntoituvuus Japanissa käytettyyn sementtiin verrattuna. 1980-luvun loppupuolella koneiden kierrosluvut melko nopeasti yli kaksinkertaistuivat (nykyisin noin 160 r/min) ja samalla yleistyi sellaisten sideaineiden käyttö, jotka vaativat parempaa sekoitustyötä kuin puhdas kalkki. Kun



kierrosnousuvaatimusta mm/r ei heti ymmärretty vastaavasti alentaa, ko. aikoina tehtyjen pilarien sekoituksen laatu lieenee ollut huonoimmillaan. Sekoitustyön suuri nopeus aiheutti sideaineen syöttönopeuden kasvua, mikä taas ilmeisesti johti epäedullisen suurten syöttöpaineiden käyttöön ja huononsi laatua myös tätä kautta. Nykyisin, kun asian merkitys tiedostetaan paremmin, kierrosnousuvaatimukset vaihtelevat yleensä 10...15 mm/r. Tämä vastaa terätasojen lukumäärästä (kaksi tai kolme) riippuen 150-300 terätasokierrosta/metri sekoitustehoa. Riittävän tehokaasta ja hitaasta sekoitustyöstä on sekin etu, että maahan syötetty ilma ehtii suureksi osaksi poistua maasta pilarointivispilän varren suuntaisesti ylöspäin sen sijaan, että se virtaisi pidempää reittiä aiheuttaen savikerrosten laaja-alaista häiriintymistä.

Vt1-projektilla on ryhdytty vaatimaan nousunopeuden rekisteröintiä. Aikaisemmin valvonta on ollut pistokoeluontoista.

Joissain kohteissa on esitetty myös vaatimuksia terän upotusnopeudelle. Tällöin vaatimus on ollut 100 mm/kierros.

### **4.3 Syöttöpaine ja ilmamäärä**

Syöttöpaine pyritään pitämään siinä minimiarvossa, jolla sideaine juoksee häiriöttä. Sopiva paine on sideainekohtainen. Havainnollinen esimerkki syöttöpaineen merkityksestä oli Vt3 Konhon kohdan koepilarointi. Useita sideaineita käytettäessä ko. minimiarvon hakeminen unohtui viimeisenä vuoroon tulleella hyvin juoksevalla Lohjan sideaineella KH3. Koepilarit (läpimitta 700 mm) muodostuivat suorastaan rengasmaisiksi sideaineen suuntautuessa ulkokehälle. Erittäin kovan "renkaan" paksuus oli ehkä runsaat 150 mm ja pilarin keskikohta oli pehmeää ja lapiolla kaivettavaa. Kirkkonummen koestabilointien yhteydessä 1996 todettiin pilarien muodostuneen suunniteltua paksummiksi pilareita ympäröivän saven pienen lujuuden ja mahdollisesti liian suuren syöttöpaineen vaikutuksesta. Pilarien toteutunut läpimitta oli hieman yli 700 mm suunnitellun 600 mm sijasta.

Jos syöttöpaineelle annetaan työkohtaisissa laatuvaatimuksissa ja työselityksissä maksimiarvo, tämän pitää perustua tehtyyn koepilarointiin.

Syöttöpaineen maksimiarvona on muutamassa harvassa kohteessa käytetty 270-300 kPa.

Pilarikoneen vispilää maahan upotettaessa ilmaa työnnetään suuttimista ulos niiden tukkeutumisen estämiseksi. Tarvittavaa ilmamäärää voidaan pienentää mm. terän mahdollisimman nopealla upottamisella. Suuri ilmamäärä aiheuttaa maapohjan häiriintymistä, joka luonnollisesti pitää pyrkiä minimoimaan. Täsmällisiä numerollisia rajoituksia käytettävälle ilmamäärälle ei tähänastisissa kohteissa ole asetettu.

#### 4.4 Sideaineen syöttömäärän tarkkuus

Sideaineen syöttömäärä on aikaisemmin yleensä vaadittu esitettäväksi pilarimetrikohteisesti, mutta viime vuosina on tullut yhä enemmän käyttöön vaatimus mittauksesta 0,2 m pilarinosaa kohti. Tyypillisiä nykypäivän vaatimuksia sideaineen syöttötarkkuudelle ovat:

- pilarikohtaisesti 5 %
- metrikohtaisesti 8-10 %
- yksittäinen havainto (pilarista otetusta näytteestä) 25 %

#### 4.5 Pilarien paikalleenmittaaminen ja sijaintitoleranssit

Pilarien sijaintitarkkuudelle asetetaan yleensä seuraavankaltaisia puolilujille taikka myötääviksi suunnitelluille pehmeille pilareille sopivia vaatimuksia:

- Pilarikentän nurkkien tulee sijaita 0,2...0,3 m tarkkuudella suunnitelluissa paikoissa.
- Kentässä yksittäiset pilarien väliset etäisyydet saavat poiketa suunnitellusta teoreettisesta 0,1...0,2 m. Pilarikohtainen sijainti ei ole kentän toiminnan kannalta olennaista.
- Putkijohtojen tms. rakenteiden kohdalla sijaintitoleransseja usein jonkin verran tiukennetaan.

Pilarikentät suunnitellaan nykyisin hyvin usein pilarin tarkkuudella, jolloin voidaan haluttaessa käsitellä jokaisen yksittäisen pilarin koordinaatteja. Tämä ei kuitenkaan ole useimpien pilarikenttien teknisen toiminnan kannalta välttämätöntä.

Lujilla pilareilla sijaintitarkkuusvaatimukset kasvavat ja ne on syytä tapauskohtaisesti ratkaista. Sama on tilanne, kun pilarien suunnitellaan toimivan yhtenäisinä seinäminä, jolloin niiden tulee leikata tai vähintään sivuta toisiaan.

Pilarien sallittu kaltevuus on eri kohteissa vaihdellut välillä 10...30 mm/m ja selvästi yleisin arvo on ollut 20 mm/m. Ensin mainittua 10 mm/m on käytetty vain lujilla pilareilla tai jos pilareilla on muuten ollut tavallista suurempi merkitys vakavuuden kannalta. Esimerkiksi leveillä tiepenkereillä on voitu tiukentaa kaltevuustoleranssia reuna-alueilla.

#### 4.6 Määrien toteutuminen

Pilarimetrimäärät ovat yleensä enemmän tai vähemmän kasvaneet suunnitelmassa arvioituista. Tähän todennäköisenä syynä on pilarien



ulottaminen tavoitetasona usein olevaa saven alarajaa syvemmälle silloin, kun saven alla on maata, joka ei pilarointikoneen terää vauhdilla maahan upotettaessa poikkea selvästi savesta ja pysäytä terän liikettä. Tarkentamalla pohjatutkimuksia ja kiinnittämällä suunnitteluvaiheessa huomiota pilarien alapään tason määrittämiseen (maakerrosraja vai määrätaso) voidaan tässä saavuttaa säästöä.

#### **4.7 Työn aikana havaitut vaikeudet**

Pilarointitöissä on sideaineen sekoituksen tasalaatuisuuteen ja laadunvalvontamenetelmien epätarkkuuksiin liittyvien asioiden lisäksi toteutusvaiheessa tullut esiin seuraavankaltaisia hankaluuksia:

- Stabilointityötä haittaavat kiviset täytöt on usein aliarvioitu.
- Pilarikenttien paikalleenmittaus on joskus otettu tarpeettoman millimetritarkkana työnä suunnittelutarkkuuteen (vielä yksi pilaririvi lisää vai ei) verrattuna.
- Pilarien metrimäärät ovat ylittyneet pohjatutkimusten epätarkkuuden ja maakerrosrajojen sekä suunnitteluvaiheessa että työvaiheessa tehtävän tulkinnan epätarkkuuden takia.
- Varsinkin tehtäessä stabilointityötä liian suurella syöttöpaineella ja liian suurella ilmamäärällä on aiheutettu savikerrosten häiriintymistä, joka on ollut osasyynä lähiympäristössä tapahtuneisiin työnaikaisiin sortumiin.
- Sideaineen pölyäminen on aiheuttanut ihmisille haittaa.

#### **4.8 Työtapojen työnaikainen dokumentointi ja valvonta**

Tärkeimpänä työnsuoritukseen liittyvänä asiana on seurattu sideaineen toteutunutta syöttöä. Sideaineen syötön määrittämis- ja rekisteröintitavat ovat jatkuvasti kehittyneet.

Kierrosnousun osalta ollaan siirtymässä automaattiseen rekisteröintiin. Syöttöpaineen rekisteröinti tulee myös käyttöön.

#### **4.9 Kokemuksia pilarin halkaisijan merkityksestä**

Pilarin halkaisijana käytettiin 1970-80-luvuilla yksinomaan 500 mm. Ensimmäinen hanke, jossa isompiläpimittaiset pilarit tulivat urakoitsijan ehdotuksesta käyttöön, oli Hakunilan eritasoliittymä Kehä III:lla vuonna 1991. Osa pilaroinneista tehtiin alkuperäisen suunnitelman mukaisesti 500 mm halkaisijalla ja huomattava osa muutettiin 600 mm:iin pilaritiheyttä vastaavasti harventaen. Muutoksen perusteena oli se, että urakoitsijan antama pilarin metrihinta kasvoi vähemmän kuin pinta-alan suhteessa



halkaisijan muuttuessa 500 mm:stä 600 mm:iin, mutta 700 mm pilariin siirryttäessä jyrkemmin. Tehtyjen laadunvalvontakairausten (yhteensä 177 kpl) mukaan 600 mm pilareiden lujuus oli keskimäärin 4 % parempi kuin 500 mm pilareiden.

Hyvin nopeasti edellä kuvatun tapauksen jälkeen 600 mm pilarit tulivat selvästi yleisimmäksi pilarivalinnaksi, sillä ne ovat yleensä taloudellisempia eivätkä laadultaan ainakaan huonompia kuin pienempiläpimittaiset. Myös 700 mm ja 800 mm pilarien taloudellisuus on parantunut. Isompiin pilarikokoihin siirtyminen on parantanut laadunvalvontakairausten pysymistä pilarin sisällä, joskin samaan suuntaan on vaikuttanut myös kairaustekniikan kehittyminen sekä pilarien pystysuoruuden paraneminen.

Pakinkylän eritasoliittymässä (Tuusulantie/Kehä I) jouduttiin suunniteltuja 800 mm pilareita vuonna 1996 muuttamaan 600 mm läpimittaisiksi, kun täytemaa ja kova kuivakuorikerros estivät isomman vispilän pyörittämisen.

Isoilla pilareilla saattaa kohdassa 4.3 kuvatun kaltainen pilarin rengasmaisuuden riski jossain määrin kasvaa. Tästä ei ole varmoja havaintoja.

Isoilla pilareilla pengerkuorman holvautuminen pilareille on helpommin mitoituksen kannalta kriittinen tekijä kuin pienempiläpimittaisilla pilareilla.

1990-luvun alkupuolella isoläpimittaisista ja siihenastisen käsityksen mukaan tavallista suuremmalla sideainemäärällä tehdyistä pilareista käytettiin nimitystä "pyörrepaalu". Kysymyksessä oli kuitenkin sama pilaristabilointitekniikka kuin muissakin pilareissa.

Pilarin sideainemäärää on monissa tapauksissa pyöristetty "varmuuden vuoksi" ylöspäin suunnittelu- ja/tai toteutusvaiheessa. Mahdollisesti parempi hyöty olisi usein saatu pitämällä sideainepitoisuus  $\text{kg/m}^3$  ennallaan, kasvattamalla pilarin halkaisijaa ja tekemällä pilaritiheyteen vaikkapa "täysimääräistä" pienempi harvennus.

#### 4.10 Toteutuksen aikaiset johtopäätökset

Työtapavaatimusten vastaisesti tehdyiksi todettuja pilareita on uusittu. Tavallisin syy on ollut sideaineen syöttöhäiriö. Uusittujen pilarien osuus tehdyistä pilareista on ollut keskimäärin alle 1 %, mutta se vaihtelee huomattavasti pilarointisyvyyden mukaan. Syöttöhäiriön riski kasvaa pilarointisyvyyden kasvaessa. Nykyisin on vielä käytännössä mahdotonta mm. rekisteröintilaitteiden toiminnan kannalta jatkaa saman pilarin tekemistä syöttöhäiriön havaitsemisen jälkeen, vaan pilarointikoneen vispilä on nostettava maanpintaan ja aloitettava uuden pilarin tekeminen.

## 5 LAADUNVARMISTUS

### 5.1 Lujuustarkkailu, työtapatarkkailu vai molemmat

Tähänastisista syvästabilointikohteista selvästi useimmissa on seurattu sekä stabiloinnin työtapojen vastaavuutta työkohtaisessa työselityksessä esitettyyn että saavutettavien pilarilujuuksien vastaavuutta suunnitelmassa esitettyyn tavoitteeseen.

### 5.2 Suunnitelmassa esitetyt lujuusvaatimukset

Suunnitelmassa on yleensä esitetty pilarin keskimääräinen leikkauslujuusvaatimus, joka joskus on vielä jaoteltu syvyystasoinnain. Joskus on saman hankkeen eri stabilointikentillä pidetty erilaisia vaatimuksia, mutta yleensä kirjavuus lujuustavoitteissa on pidetty vähäisenä. On periaatteessa mielekästä porrastaa lujuusvaatimuksia ja erityisesti lujuuden tasalaatuisuudelle asetettavia vaatimuksia olosuhteiden ja pilarien toiminnalle asetettavien vaatimusten mukaan. Keskimääräistä tiukemmat vaatimukset ovat perusteltuja seuraavanlaisissa tilanteissa:

- Pilaroinnilla parannetaan erityisen huonoa luonnontilaista vakavuutta tai luiskan vakavuutta, jolloin yleensä ei käytetä yksittäisiä pilareita.
- Luonnollinen maanpinta on kalteva.
- Penkereen lähettyville tehdään ojia tms. vakavuutta heikentäviä kaivutöitä.
- Pilareiden yläosassa, joka on liukupintojen kannalta vaarallisin ja jossa ympäröivän saven antama sivupaine ei merkittävästi kompensoi pilarien laadunlukuja.

Pilarin lujuuden sallitut poikkeamat on nykyisin yleensä esitetty työkohtaisissa laatuvaatimuksissa ja työselityksissä, esimerkiksi seuraavasti (Vt3 Konho):

- Pilarien keskimääräisen leikkauslujuuden tulee olla tavoitteen 150 kPa mukainen.
- Korkeintaan 5 %:lla pilarien pituudesta lujuus saa olla alle 70 % tavoitteesta.
- Paikallinen (alle 0,5 m) lujuusluku saa olla enintään 50 % tavoitteesta.



### 5.3 Laadunvalvonnassa käytetyt menetelmät

Pilarien laadunvalvonnassa on käytetty pääasiassa seuraavia menetelmiä:

- Pilarikaira, jossa on ohjainkärki ja tavallisesti kaksi siipeä kairan pitämiseksi pilarin keskiosassa. Kärjen poikkipinta-ala on yleensä 100 cm<sup>2</sup>. Puristusvoiman perusteella määritetään lujuus jatkuvana koko pilarin matkalta. Kairaa voidaan tavallista lujemmissa pilareissa ( $s_u > 120 \dots 160$  kPa) myös heijaroida, joskin tulosten tulkintatarkkuus heikkenee tällöin.
- Pilarisiipikairaus, joka periaatteessa tavanomaisen siipikairan tapaan mittaa pilarin leikkauslujuutta suoraan. Haittana on tuloksen epäjatkuvuus ja soveltumattomuus lujille pilareille.
- CPTU-kairaus, jossa puristusjännitys mitataan sähköisesti kairan kärjestä. CPTU soveltuu nimenomaan lujille pilareille. Kärjen poikkipinta-ala on noin 10 cm<sup>2</sup>. Pilarikairaukseen verrattuna on tällöin vaara, että mitataan pilarin keskikohdan heikoimman osan lujuutta.
- Puristinheijarikairaus, jossa yhdistyy pilarikairauksen ja CPTU-kairauksen piirteitä. Kärjen pinta-ala on noin 16 cm<sup>2</sup> eli lähempänä CPTU-kairaa. Puristinheijarikairaus on kairaustyön kannalta CPTU:ta kätevämpi, sillä lujimmatkin pilarinosat ovat heijarilla läpäistävissä eikä puristusvoiman maksimi tule rajoittavaksi tekijäksi.
- Näytteenotto pilareista ja näytteiden koestaminen laboratoriossa. Haittana on näytteenoton onnistumisen epävarmuus ja erityisesti näytteenoton onnistuminen harhaanjohtavasti eri lailla eri lujuuteen lujittuneista pilareista.
- Kokonaisen pilarin ylösnosto. Menetelmä on havainnollinen, mutta melko kallis, joten sitä on käytetty lähinnä kiistatilanteiden ratkaisemiseen.

Yleisin menetelmä on ollut pilarikairaus, useimmiten muutamilla pilarisiipikairauksilla varmistettuna. Pilarisiipikairausten määrä on ollut vähenemään päin. Lujempiin pilareihin siirryttäessä varsinkin CPTU-kairaus on yleistynyt. Näytteenottoa on sovellettu muutamissa kohteissa. Näytteistä määritetään yleensä puristuslujuus ja muodonmuutosmoduuli sekä ainakin osasta näytteitä myös sideainepitoisuus ja pH.

Nykyisin yleensä laadunvalvontamenetelmät esitetään jo suunnitelmassa. Usein myös koestusmäärät arvioidaan etukäteen. Joskus myös tulosten tulkinnassa käytettävät kertoimet, joiden lukuarvon määrittämisessä on epätarkkuutta ja harkinnan varaa, lyödään lukkoon työkohtaisissa laatuvaatimuksissa ja työselityksissä. Tämän menettelyn yleistymistä pidetään toivottavana. Laadunvalvontatutkimukset sisällytetään nykyisin useimmiten syvästabilointiurakkaan.



## 5.4 Toteutuksen aikaiset johtopäätökset lujuustuloksista

Kun lujuustavoitteiden alituksia on todettu, seurauksena on ollut:

- Pilarien on todettu jonkin verran pidennetyn lujittumisajan jälkeen saavuttaneen lujuustavoitteen (mm. Vt1 kohteet Turun tiepiirin alueella).
- Pilarien on arvioitu täyttävän rakenteen toiminnan kannalta oleelliset vaatimukset ehkä alun perin ajateltua pienemmällä, mutta käytännössä riittävällä varmuudella (mm. Vt7 Tesjoen suoran korjaukset 1990).

Useissa tapauksissa on harkittu, voitaisiinko urakoitsijaa syyttää lujuustavoitteen saavuttamatta jäämisestä, mutta asiasta on yleensä luovuttu. Urakoitsijan on katsottu voivan vedota maakerrosten stabiloituvuuden paikalliseen vaihteluun. Käytännöksi on muotoutunut, että lujuustavoitteiden alittuessa voidaan nostaa pilareita ylös sideaineen todellisen jakautumisen selvittämiseksi. Työselityksessä on valmiiksi esitettävä tällöin sallitut toleranssit. Jos lujuusalituksen todetaan johtuvan sideaineen syötön vajavuudesta tai epätasaisuudesta, urakoitsija on selkeästi korvausvelvollinen.

## 5.5 Laadunvalvonnan kehityssuuntauksia

Syvästabiloinnin laadunvalvonnassa on erilaisia kehitystarpeita ja kehityssuuntia. Keskenään ristiriidassa ovat mm. seuraavat näkökohdat:

- Lopputuloksen laadun ostaminen on periaatteessa mielekäs tavoite.
- Laadunvalvontamenetelmien tarkkuuteen ja luotettavuuteen liittyy epävarmuustekijöitä. Arvioitaessa laatupoikkeamien todellista tapauskohtaista vaikutusta suunnitellun rakenteen toimintaan epävarmuutta on myös rakenteen käyttäytymistä koskevissa otaksumissa. Saataessa tieto lopputuloksen laadusta on usein myöhäistä vaikuttaa jäljellä olevan työn laatuun.

Keskenään ristiriitaisia ovat myös seuraavat näkökohdat:

- Uusia laadunvalvontamenetelmiä kehittyy, mikä onkin hyvin aiheellista.
- Eri menetelmät voivat antaa pahastikin ristiriitaisia tuloksia.

## 5.6 Laadunvalvonnan luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä

### Kairauksen pysyminen pilarissa

Kairauksien tunkeutuminen pilarin kyljestä ulos on ollut syvästabilointien laadunvalvonnan keskeisiä ongelmia. Vielä 1980-luvulla ei liene ollut näyttöä yhdestäkään kymmenen metrin syvyyteen onnistuneesti tehdystä pilaroinnista. Kairauksen ulostunkeutumisriskiin vaikuttavia tekijöitä ovat:

- Pilarin pystysuoruus. Tämä lienee viime vuosina parantunut.
- Pilarin läpimitta. Kun keskimääräinen pilarikoko on kasvanut, kairaukset ovat paremmin pysyneet pilarin sisällä.
- Kairauksen pystysuoruus. Tämä lienee viime vuosina parantunut.
- Kairauslaji. Pilarikairan kärki on muotoiltu pilarissa pysymistä silmällä pitäen. Kolmisiipisen kärjen on joissain kohteissa havaittu pysyvän pilarissa kaksisiipistä paremmin.
- Pilarin rengasmaisuus, ks. kohta 4.3. Pilarien läpimitan kasvu on ehkä lisännyt rengasmaisuutta, jolloin kairaukset myös paremmin pysyvät pilarin sisällä, mutta antavat todellista pessimistisemmän kuvan pilarin lujuudesta.
- Pilarin suppeampialainen heikko keskikohta (vispilän akselin kohta), joka voi ohjata kairausta pysymään keskellä pilaria. Tämän heikon kohdan syntyminen riippuu mm. pilarointikoneen terän mahdollisesta kuluneisuudesta.

Kairausten tunkeutuminen pilarista ulos aiheutti Vt 3:lla Vaasassa 1991 vaatimuksen urakoitsijan työnsuorituksen hylkäämisestä. Riidan ratkaisemiseksi nostettiin kairattu pilari ylös. Pilari todettiin ehjäksi ja sen kyljestä löytyi kairan ulostulojälki.

### Kairan kärkiosa

Kairan kärjen poikkileikkausala on pilarikairassa noin 100 cm<sup>2</sup>, puristinheijarikairassa 16 cm<sup>2</sup> ja CPTU-kairassa 10 cm<sup>2</sup>. Pilarikaira mittaa näin ollen laajemman vyöhykkeen lujuutta kuin kaksi viimeksi mainittua menetelmää eikä suppea heikompi pilarin keskikohta kovinkaan paljon vaikuta saatavaan tulokseen. Pilarikairan heikkoutena on toisaalta, että vaippavastus voi olla mukana kairausvastuksessa.

### Näytteenoton onnistuminen

Pieniläpimittaisten (50-100 mm) näytteiden ottamisesta mainitaan useissa lähteissä, että näytteen pysyminen näytteenottimessa edellyttää melko hyvää lujuutta, jolloin näytteenotto voi harhaanjohtavasti onnistua vain parhaiten lujittuneista pilareista. Täysin päinvastainen kokemus saatiin Vt3 Konhon kohdan koepilaroinnissa 1996. Onnistuneimmat näytteet saatiin

pehmeimmistä, pienimmillä sideainemäärillä tehdyistä pilareista. Lujemmista pilareista (isommat sideainemäärät, paremmat kairausvastukset) otetut näytteet rikkoutuivat. Näytteet otettiin porakonekalustolla 100 mm läpimittaista putkea käyttäen. Leikkaavalla timanttiterällä tämänkaltaista näytteen rikkoutumista ei olisi tapahtunut, mutta koska näytteen halkaisija olisi jäänyt pienemmäksi, näyte olisi tästä syystä ollut herkkä katkeamaan. Johtopäätöksenä edellä esitetystä voidaan todeta, että näytteenottotekniikkaan on kiinnitettävä erityistä huomiota ja näytteenottoa on varottava käyttämästä tärkeimpänä laadunvalvontamenetelmänä.

## 5.7 Suositukset

Laadunvalvontatapoja valittaessa otetaan huomioon mm. seuraavat näkökohdat:

- Syvästabilointien suunniteltu toimintatapa ja lujuusvaatimus. Lujien ja/tai stabiliteettia ratkaisevasti parantavien pilarointien laadusta on varmistuttava huolellisemmin kuin tavanomaisten puolilujien pilarointien, jotka ehkä huonoimmassa tapauksessa toimivat lievästi myötäävinä.
- Kohteen koko. Pienehkössä kohteessa laadunvalvonnan ja tulosten tulkinnan selkeys on paikallaan. Lähinnä isossa kohteessa voidaan jättää toteutuksen aikana tehtäväksi johtopäätöksiä keskenään mahdollisesti ristiriitaisia tuloksia antavista laadunvalvontamenetelmistä taikka hankkia käyttökokemuksia uusista menetelmistä.
- Pehmeillä ja puolilujilla pilareilla voidaan ensisijaiseksi menetelmäksi suositella pilarikairaa ja lujemmilla pilareilla CPTU-kairaa.

## 6 RAKENNUTTAMISMENETTELYT

### 6.1 Hinnoitteluperusteet

Syvästabilointiurakan hinnoitteluperusteena käytössä ovat:

- Yksikköhintaurakka mk/pilarimetri, joka on yleisin.
- Kokonaishinta, sidotut määrät ja muutosten yksikköhinnat on myös aika yleinen. Ero ensin mainittuun on käytännössä pieni.

Ruotsissa käytetään pelkän metrihinnan asemasta yleisesti pilarin kappalehinnan ja metrihinnan yhdistelmää. Tämä mahdollistaa työn tarkemman hinnoittelun, jos työhön sisältyy paljon pehmeikköjen reuna-alueiden matalia pilarointeja, joissa pilarikenttien laajuus voi poiketa pohjatutkimusten perusteella arvioidusta. Toisaalta pilarointikoneiden



kehittyminen on pienentänyt pilarilta toiselle siirtymisen keskimääräistä työläyttä.

Pelkän kokonaishinnan käyttäminen syvästabilointiurakassa ei vaikuta mielekkäältä, sillä määrät muuttuvat yleensä jonkin verran työn aikana ja aiheuttavat kokonaishinnan määrittämiseen epätarkkuustekijän, joka jää joko rakennuttajan tai urakoitsijan kustannettavaksi.

Jos rakennuttaja haluaa kilpailuttaa syvästabilointiurakoitsijat ja tämän jälkeen teettää koepilaroinnin, jonka perusteella sideaineet, sideainemäärät, pilaritiheydet yms. lopullisesti lyödään lukkoon, saavutetaan se etu, että urakoitsijakohtaiset lopputuloksen laatuun vaikuttavat työtekniikkaerot eivät ole mitoituksessa mukana epätarkkuutena. Hinnoitteluperusteena ei tällöin kuitenkaan kannata käyttää sideaineen kg-hintaa ja eri kokoisten pilarien pilarointityön metrihintaa, sillä erilaisilla sideainemäärillä työn luonne muuttuu merkittävästi säiliön tyhjenemiskertojen määrän muuttuessa. Parempi on pyytää valmiin pilarin hinnat esimerkiksi seuraavasti:

- 600 mm pilari, sideainetta A 40 kg/m, hinta 37 mk/m
- 600 mm pilari, sideainetta A 45 kg/m, hinta 40 mk/m
- 600 mm pilari, sideainetta B 40 kg/m, hinta 35 mk/m jne.

## 6.2 Lujuus- vai työtapavaatimukset

Tähän asti selvästi yleisin perusmenettely on ollut se, että rakennuttaja vastaa suunnitelmassa annetulla sideainelaadulla, sideainemäärällä ja työtapaohjeilla saavutettavasta lujuustuloksesta.

Viime aikoina on tullut aikaisempaa yleisemmäksi käytäntö, että rakennuttaja vastaa suunnitelmassa esitetyn sideaineen, sideainemäärän ja työtapojen mukaisen lopputuloksen lujuudesta, mutta antaa urakoitsijalle vapauden korvata esitetty stabilointiratkaisu omalla vaihtoehdollaan, jolloin urakoitsija vastaa lujuustavoitteen saavuttamisesta.

Lujuustavoitteen saavuttamisvastuun säilyttäminen urakoitsijalle on periaatteessa rakennuttajan kannalta houkutteleva tavoite, mutta asiaa harkittaessa on otettava huomioon mm. seuraavat näkökohdat:

- Urakoiden aikataulut ovat tiukentuneet eikä suunta näytä ainakaan muuttuvan. Koepilarointien tekeminen rakentamisvaiheessa on tällöin vaikeutunut.
- Urakoitsija lisää kasvaneen riskin pilaroinnin hintaan.

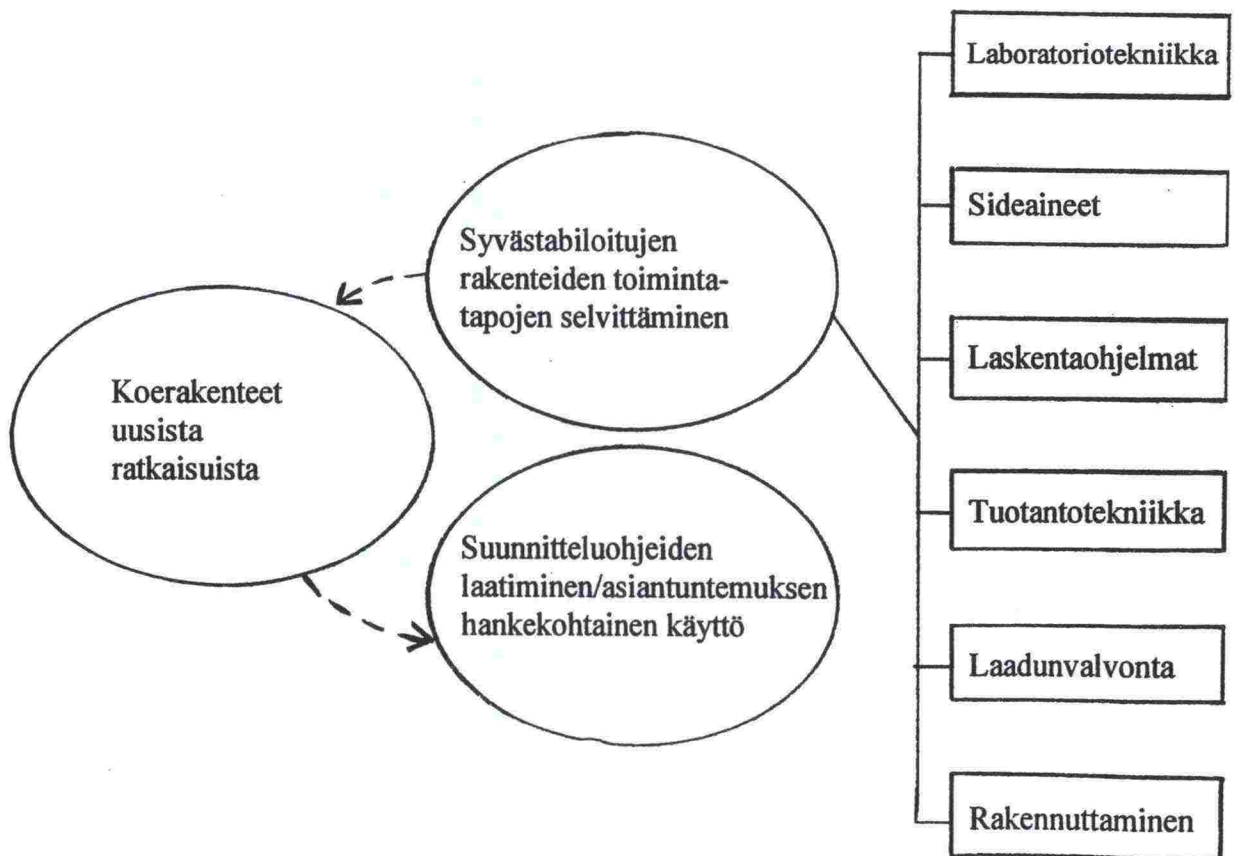
Espoon kaupunki on viime aikaisissa kohteissa soveltanut seuraavankaltaista menettelyä:

- Sideaineen laadun ja määrän valinta jätetään urakoitsijalle.
- Urakoitsijalla on tarjoustu tehdessään mahdollisuus tutustua Espoon alueella tehdyissä aikaisemmissa syvästabilointitöissä saavutettuihin lujuuksituloksiin.
- Tarjouksen tekemiseen on varattu aikaa 1-3 viikkoa.

Edellä esitetyssä menettelyssä on urakoitsijan kannalta hankaluutena laskenta-ajan lyhyys sekä riittävien kohdekohtaisten ennakkokokeiden puute. Jos nämä puutteet korjataan, menettely on ratkaisujen kehittämiseen kannustava.

## 7 JÄLKIARVIOINTI JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Syvästabiloinnin kehittämisen osa-alueita on hahmoteltu kuvassa 5.



Kuva 5.

*Syvästabiloinnin kehittämisen osa-alueita.*

Syvästabiloinnin kehittäminen voidaan ryhmitellä seuraaviin kahteen päälinjaan:

- Tulevaisuudessa huomiota on syytä kiinnittää syvästabiloitujen rakenteiden toimintatapojen tähänastista parempaan selvittämiseen. Keinoina tulevat kysymykseen koerakentaminen sekä käytännön kohteiden tehostettu instrumentointi ja seuranta.
- Tuotantotekniikan kehittäminen niin, että lopputuloksen tasalaatuisuus paranee ja nykyistä tarkempien ja paremmin tuotantoa ohjaavien laadunvalvontatapojen kehittäminen

Kaikkien syvästabiloitujen rakenteiden käyttäytymisen tuntemisessa ja oikeiden mitoitusperusteiden valinnassa on parantamisen varaa. Yleisimmän sovellutuksen, puolilujien pilarointien, mitoituksessa on käytetty tarpeettomiakin varmuuksia. Uudempien ratkaisujen osalta ollaan vielä enemmän alkuvaiheessa.

Tuotantotekniikan ja laadunvarmistuksen kehittämisellä parannetaan nopeimmin puolilujien pilarointien kilpailukykyä muihin pohjanvahvistustapoihin verrattuna. Tämän menetelmän käytön kannalta ovat rajoituksina olleet ennakkoluuloiset asenteet, kun menetelmä on ollut muita ratkaisuja vähemmän tuttu ja lopputuloksen laadun hajonta on usein ollut hämmäntävää, vaikka mitoitusperusteiden ollessa varmalla puolella riskit tierakenteen todellisen toiminnan kannalta ovat olleet teoreettisia.

Eri osa-alueiden tämänhetkistä tiedon tasoa sekä tiedon tason kohottamisella saavutettavaa hyötyä on pyritty arvioimaan taulukossa 3.

*Taulukko 3. Syvästabiloinnin osa-alueiden tämänhetkinen tiedon taso ja sen kohottamismahdollisuudet.*

Syvästabiloinnin osa-alue	Nykyinen tiedon taso, kouluarvosana	Painokerroin tiedon lisäyksellä saatavalle hyödyille
Laboratoriotekniikka	8	2
Sideaineet	8	4
Tuotantotekniikka	6-7	7-8
Laadunvalvonta	6-7	8
Rakenteiden toimintatapa	5-6	10
Laskentaohjelmat	8	3



Erilaisten syvästabilointiratkaisujen osalta on tämänhetkisen tiedon tasoa, potentiaalista käyttöalueen laajennusta ja laajamittaisemman käyttöön oton pullonkauloja kuvattu taulukossa 4.

*Taulukko 4. Erilaisten syvästabilointiratkaisujen käytön laajentamisen mahdollisuuksia.*

Ratkaisu	Nykyinen tiedon taso, kouluarvosana	Potentiaallinen käyttöalueen laajennus	Kilpaileva ratkaisu	Pullonkaula käytön laajenemisen kannalta
Puolilujat pilarit	8	7	Paalutus	Tuotantotekniikka
Pehmeät pilarit	6	8	Puolilujat Pystyjoitus	Rakenteen toiminta
Määrämittaiset pilarit	5	9	Täyssyvät Kevennys Pystyjoitus	Rakenteen toiminta
Lujat pilarit	7	7	Paalutus Massanvaihto	Laadunvalvonta Rakenteen toiminta Tuotantotekniikka
Massasyvästabilointi	6	6	Massanvaihto	Työtekniikka

## LIITELUETTELO

- Liite 1: Syvästabilointihankkeiden yhteenveto
- Liite 2: Esitekortti, painumavaurion korjaus, Vt 7 Lelu-Kattilainen
- Liite 3: Esitekortti, Hertsbyn seinästabilointi
- Liite 4: Esitekortti, Vt 7, Tesjoen suoran painumakorjaukset
- Liite 5: Yhteenveto Viatekissa suunnitelluista syvästabilointikohteista
- Liite 6: Kehä II, alue 1
- Liite 7: Kehä II, alue 2
- Liite 8: Kehä II, alue 3
- Liite 9: Mt 132, Klaukkalan kohta
- Liite 10: Mt 3571, Kymin aseman kohta
- Liite 11: Mt 1452 Haarajoki-Vähänummi jatkaminen
- Liite 12: Vt 1 Hurtinmäki-Haukkala
- Liite 13: Pt 11953 Sundsbron sillan kohta
- Liite 14: Vt 8 Turku-Marjamäki

SYVÄSTABILOINNIN KEHITTÄMINEN, OSAPROJEKTI A: TIELAITOKSEN KOKEMUKSET

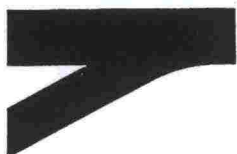
SYVÄSTABILOINTIHANKKEIDEN YHTEENVETO

Piiri/kohde	Kohteen laajuus		Kohteen kuvaus	Mitoituksen perustaksi tehdyt tutkimukset		Olemmassa havaittoja lujuustuloksista	Suunnittelija	Toteutuksesta tiedetään	Erityistä ko. kohteesta	Suunniteltu/toteutettu
	tie-m	pilari-m		laboratoriokokeet	koepilarointi					
U/Kehä III Bemböle-Vanha-kartano			Matalalla penkereellä painumien välttämiseksi sekä meluvallien vakavuuden parantamiseksi.				M&V/J Kemppinen	R Rautio		
U/Kehä III Bembölen etä			Lujia sementtipilareita 3-4 m penkereen perustamiseen.	Kyllä	Työn aloitusvaiheessa	Tavoiteleikkauslujuus 270 kPa, laboratoriossa 600 kPa, maastossa 280 kPa (CPT:llä tutkittu).	VH/J Pykkänen			
U/Kehä III Pihlajarinteen etä	95		Massasyvästabilointi, syvyys max 4,5 m, penger max 5,5 m	Kyllä		Sekoitus työ epätasainen ja lujuustulos vaihteleva.	Viatek/H Mäkelä	R Rautio	Rakenne toimi hyvin sekoituksen epätasaisuudesta huolimatta.	93/93
U/Kehä III Tikkurila-Hakunila		23000	Matalahkoja penkereitä.	Kyllä	Ei		Viatek/I Suutarinen	A Semilä, H Kuokkanen		
U/Kehä III Hakunilan etä		360000	Alle 2,5 m penkereitä, uonien luisia, 1 siirtymärakenne. Määrät laskettu alkuperäisen suunnitelman (500 mm pilarit) mukaan.	Kyllä	Kyllä. Raportoitu.	Laboratoriolujuudet humuspitoisissa kerroksissa erittäin huonot. Koepilaroinnissa kalkkisementillä saatiin 75 kPa leikkauslujuus, joskin melko hitaasti. Tuotantopilarit kuten koepilarit.	Viatek/A Junnila	A Semilä, H Kuokkanen	Monissa asioissa otettiin onnistuneesti oppia Kirkkonummen kohteesta. Esim. luiskestabiloinneilta vaadittiin vähemmän. 600 mm pilarit tulivat käyttöön. Kaikki stabiloinnit onnistuivat ja niitä olisi voinut tehdä enemmänkin.	90-91/91-93
U/Kt51 Matinkylän etä			2-4 m penkereen perustaminen				M&V/J Kemppinen			
U/Kt51 Kirkkonummen etä		65000	Pienehköjä penkereenosia, pengerlevennyksiä, siirtymärakenteita, kaivantoluisia, luisien vahvistusta lyhyillä pilareilla	Kyllä. Sementillä erittäin hyviä lujuuksia.	Kyllä. Myös pilarien nostoja. Raportoitu.	Sementillä hyviä laboratoriolujuuksia, koepilaroinneissa huonompia ja ylösnostetut hauraita. Valittiin kalkkimentti.	Viatek/J Huotelin	T Niskala	Luiskanvahvistuksissa sekä epäonnistuneita että onnistuneita. Muut stabiloinnit onnistuneita. Stabilointia olisi pitänyt käyttää enemmän penkereissä varsinkin pystyjoituksen sijasta.	86-88/89-91
U/Kt51 Matinkylä-Haukilahti			Ramppipenkereitä, pengerlevennyksiä jne.		Kyllä	Koepilaroinnissa kalkkimenttiä 60-90 kg/m3, leikkauslujuudet 45-120 kPa. Toteutuksessa 150 kg/m3.	M&V	A Cederström		7/95
U/Kehä I Pakinkylän etä	100		Mootorin pengertä sekä meluiden perustuksia	Kyllä. Sideaineeksi sementti.	Ei	Tavoiteleikkauslujuus 175 kPa, saavutettu 125 kPa.	SKOY	A Semilä, H Kuokkanen		7/96-98
U/Kehä II		326000	Enimmäkseen matalahkoja penkereitä.	Kyllä	Sekä 1991 että 1996.		Viatek/I Suutarinen			90-96/96-
U/Vt3/Haagan etä	500		Vt3 levennyksiä, ramppipenkereitä.	Kyllä	Ei	Huonot lujuudet kalkkisementillä. Valittiin V15.	M&V	M Kontinen		95-96/97
U/Vt7 Tesjoen suora	200	4700	Painumavaurioiden korjauksia matalahkolla penkereellä. Enimmäkseen kevennyksiä, pilarointi silloin, kun se matalilla pehmeillä oli halvempi.	Kyllä	Ei	Sideaineena kalkkimentti. Tuotantolujuudet keskimäärin hieman alle laboratoriolujuuksien.	Viatek/A Junnila	M Smura		89/90
U/Mt170 Östersundom-Westerskog jk+pp-tie	300	10000	Pengerkorkeus jk+pp-tiellä suurimmillaan 5 m. Varmuus sortumaa vastaan ilman pohjanvahvistuksia alle 1.	Kyllä. Lujuudet 40-90 kPa.	Ei	Stabilointityö heikensi päätien vakavuutta.	SKOY	A Semilä, H Kuokkanen		
U/Mt1452 Vähänummipuroja	200	30000		Kyllä	Ei	Kalkkimentti 100 kg/m3. Lab. lujuudet 110-185 kPa. Tuotantopilareissa lujuus likimain sama.	Viatek/A Turunen	Reponen, Smura		97/97-98
U/Pt 11610 Tuusula-Kerava			Sillan tulopenger		Ei	Kalkkimentti 90 kg/m3. Toteutunut lujuus 80-160 kPa.	VH/J Pykkänen			7/93
U/Pt 11737 Hertsby		15000	Sillan tulopenkereiden vakavuuden parantaminen jokiuoman suuntaan 800 mm pilareilla, jotka tehtiin osittain seinämäisiksi. Joenrantojen luonnontilainen varmuus sortumaa vastaan F=1.	Kyllä	Ei		TIEL/M Smura, A Honkala		Huokospaineiden nousua pilarointityön aikana ja pieniä sortumia stabilointialueen ulkopuolella. Perusteellinen seuranta. Sideaine V15.	95/96
U/Mt132 Klaukkala	300		Matalahkoja penkereitä.	Kyllä	Ei	Kalkkimentti 120 kg/m3.	Viatek/M Leppänen			93/94-96
U/Pt 11953 Sundsbro	160	12000	Sillan tulopenger, jonka vakavuus ilman pohjanvahvistuksia heikko.	Kyllä	Ei	Sideaine V15 100 kg/m3. Lab. lujuudet 94-353 kPa.	Viatek/H Tanska			97/-
U/Kaukilahti jk+pp-tie			Sillan tulopenger lujille pilareille.		Viereisellä lääketehtaan kohteella	Sideaine sementtiä 140 kg/m3. Tavoitelujuus 250 kPa. Toteutuneet keskimäärin 650 kPa, minimi 320 kPa.	IPT/M Honkaniemi		Työ onnistui hyvin. Painumia seurattiin, mutta ne olivat pieniä ja nopeita. Lujuudet määritettiin pilareista otetuista näytteistä.	92/92
TV/t1 Helsingintie läntinen osuus		150000	Enimmäkseen matalahkoja penkereitä.	Kyllä			Viatek/I Suutarinen	E Eerola		91-93/95-97
TV/t1 Helsingintie itäinen osuus		58000	Enimmäkseen poikittaisilla kaduilla matalahkoilla penkereillä, päätillä paikoin luisissa seinämäisissä rakenteita.	Kyllä	Ei	Suunniteltu kalkkimenttiä 175 kg/m3. Urakoitsija vaihtoi tilalle Lohja K2 (pienempi määrä). Tavoiteleikkauslujuus 50 kPa. Työ onnistui hyvin.	YS/L Korkiala-Tanttu	E Eerola		91-93/95-97



Pilriikohde	Kohteen laajuus te-m	Kohteen kuvaus	Mitoituksen perustaksi laboratorikokeet	Mitoituksen perustaksi tehdyt tutkimukset koepilarointi	Olemassa havaittoja lujuusluokista laboratorio/koepilarointituotantovaihe	Suunnittelija	Toteutuksesta tiedää	Erityistä ko. kohteesta	Suunnitelma/ toteutettu
T/V1 Kurkela-Raadelma	456000	Lähinnä matalia penkereitä, hyvin vähän itse moottorilla Eniten Kurkelanilla, paikoin leikkauspohtjan työkentistä stabilointia. Määrät alkuperäisen suunnitelman (500 mm pilarit) mukaan.	Kyllä	Ei		Viatek/A Junnila	E Eerola	Pilaroinnit OK. Jollain pienellä luokasortumia tehtäessä kaivantoja pilaroituun saveen nimenomaisista työohjeista poiketen.	88-91/83-96
T/V1 plv. 16242-17440	55000					YS			
T/V1 plv. 19790-24790	162000					YS			
T/V1 Valkojän etl	94000					YS			
T/V1 Tammissillan etl	88000			Kyllä		YS			
T/V1 plv. 31300-31900	130000	Myötäväiksi suunniteltuja pilarointeja. Pengerkorkeus Kevolan paikallistietä 2-5,5 m. Päätietä myös määrämättäisiä pilareita.	Kyllä	Ei	Tavoitelujuus V1:lla 50 kPa ja P1:lla 75 kPa. Side- ainetta 155 kg/m <sup>3</sup> (määräytyi heikoimman kerroksen mukaan). w=80...125 %, leikkauslujuusminimit 7-8 kPa.	YSIL Korkiala-Tanttu	A Peltola	Heikko kerros lujitti maastossa selvästi paremmin kuin laboratoriossa, eivät pilarit käytännössä juuri myödenneet.	98/97
T/V1 Hurtinmäki- Haukka	150000		Kyllä	Ei	Lohja K2 150 kg/m <sup>3</sup> . Lab. lujitukset 150-310 kPa.	Viatek Tku/J Heikkilä	E Eerola		97-98/-
T/V1 Haukka-Ruotsala	230000	Myötäväiksi suunniteltuja pilareita. Matalaa (<2,5 m) pengertä.	Kyllä	Kyllä. Hyvin dokumentoitu.	Sideainemäärä 113 kg/m <sup>3</sup> . Tavoiteluokituslujuus 50 kPa.	YSIL Korkiala-Tanttu	A Peltola		98-99-99
T/V1 Turku-Marjamäki	100000				Kaikkisementti 150 kg/m <sup>3</sup> . Lab. lujitukset 68-162 kPa.	Viatek Tku/J Heikkilä			95/?
T/K1 40 Nesteenie	183000	Matalia penkereitä. Suunnittelun loppuvaiheessa muutettiin suuri osa pystyvoituksista pilaroinneiksi. Syvinmillia savikoilla pilarin maksimipituutena 12 m.	Kyllä			Viatek/A Junnila		Pilaroinnit onnistuivat. Pilarointityö aiheutti saveen melko pitkään vaikuttanutta häiriintymistä.	88-89/90-92
T/K1 40 Hauninen	37000					M&V/J Kempinen			
T/K1 40 Topinoja	46000	Matalahkoja penkereitä, siirtymäkentteitä.				Viatek Tku/J Heikkilä			
H/V13 Konho	52000	Seka moottorilla että rampella 1-4 m penkereitä, joissa lisäksi 1-3 m massanvaihto turpeessa. Vesialueen syvä- stabiloinnista vaihtoehdotusunnitelma, joka urakkakyselys- sä oli vähän massanvaihtoa kalliimpi (ei massoissa mukana)	Jonkin verran, pääpaino koepilaroinnilla.	Perusteellinen ja raportoitu	Ks. kohta 3.3.	Innoce/A Junnila	A Kari	Mitoitusta esitetty kohdassa 3.1. Stabiloinnit onnistuivat.	95-96/96-98
KaSV17 Kangasmaan liittymä	300	Erikanemiskaistojen perustamistapana pilarointi. 500 mm pilarit k/k 1,0 m. Pengerkorkeus alle 3 m. Kuivakuoretonta savea 5-7 m, maapinta +1. Leikkauslujuus noin 5 kPa.	Kyllä	Ei	Sideaine kalkkisementti 130 kg/m <sup>3</sup> . Ehkä lujitukset jäätneet alle tavoitteen, sillä pohjanvähvistusta on täydennetty kevennyksellä ja vastapenkereillä.	Panplan/J Roine	S Mielonen	Alkuperäinen suunnitelma oli massanvaihto, joka todettiin viime vaiheessa toteuttamiskelvottomaksi. Syvästabilointi suunniteltiin kireällä. Vielä työn aikana paljon muutossuunnittelua mm. nykyisen penkereen lohkeaisuuden haittassa pilarointia.	97-98/98
KaSV17 Lelu	140	Sortumavaarassa olleen tien korotus. Paikoin määrä- mittaisten pilarien ja kevennyksen yhdistelmä.	Alkataulusyistä ei.	Onnistuttu ohjelmoimaan ilman edeltäviä lab kokeita.	Tuotantopilareissa lujuus kaksinkertainen koepilareihin verratuna (sama urakoitsija, eri kone).	Innoce/A Junnila	M Koikkalainen	Ks. kuva 2 sekä erillinen liite.	
KaSM175 Kaipainen- Enäjärvi	320	Osalla aluetta vahva kuivakuori, osalla 2-3 m poikaivettavaa turvetta tai liejua. Toisessa päässä blokkimainen rakenne ja toisessa erillisilpilarit. Penger 1,5-2 m. Lujat pilarit.	Kyllä	Ei	Sideaine sementti (osin 120 kg/m <sup>3</sup> , osin 150 kg/m <sup>3</sup> ). Laboratoriolujitukset kerrottu 0,5 illa. Lujusvaatimus 260 kPa tai 350 kPa sideainemäärän mukaan.	TIEL/J Immonen	M Koikkalainen	CPTU- ja puristinhäiriövaikutuksia, myös vinoja. Inklinometrimittauksin todettu sivusiirtymien olleen vain muutaman mm.	7/87
KaSKymin asema	28000	Maapohja hyvin häiriintymisherkää.	Kyllä	Ei	Tuotantolujitukset OK.	Viatek/J Nauska	S Mielonen		98-97/97
V/V18 Lälby	9000	Humuspitoisia kerroksia 7 m syvyyteen, niiden alla iSa ja laSa max 15 m syvyyteen. Penger 1,5...2,5 m. Puoliujat pilarit. Joka toinen pilarinvi seinämäinen vakavuuden parantamiseksi.	Kyllä	Ei	Sideaineksi valittiin V15 (120 kg/m <sup>3</sup> ). Laboratorio- lujitukset kerrottiin 0,7 illa. Lujusvaatote 146 kPa. Ensimmäisellä koestuskerralla ei riittäviä lujuuksia, mutta lisääjän jälkeen kyllä.	TIEL/J Kasari	J Harjula	Sideaine sementti. Pilarit 600 mm.	94-95/95-97
V/V13 Vaasan moottite	50	Maalaji jSi...laSa, jonka leikkauslujuus 10...30 kPa.	Kyllä	Ei	Kairausten perusteella työn luultiin epäonnistuneen.	YSM Ohtonen	S Nygård	Pilareita nostettiin ylös ja ne todettiin onnistuneiksi. Pilarin kyljessä havaittiin kairan ulostuloreikä.	
V/Lukkarin rantatie		Maalaji jSi ja jSa.	Kyllä	Ei		TIEL/P Salo, T Kasari	T Kasari	Onnistui hyvin.	7/90





## **PAINUMAVAURION KORJAUS VALTATIELLÄ 7 VÄLILLÄ LELU-KATTILAINEN**

### **Olosuhteet**

Valtatiellä 7 noin 8 km Haminasta itään oli todettu haitallinen painumavaurio noin 140 m matkalla. Tie oli painunut vuosien mittaan suoritetuista päällysteellä tasoittamisista huolimatta noin 0,3 m alkuperäisen tason alapuolelle. Notkon molemmissa päissä painuma oli melko jyrkkäpiirteinen ja liikennettä haittaava. Vaurion syitä ja korjaustarvetta ryhdyttiin selvittämään alkusyksystä 1997.

Vauriokohdalla oli arkistotietojen mukaan vuonna 1968 tapahtunut kaksi vuotta aikaisemmin valmistuneen ja painumien takia jo siihen mennessä korotetun tien sortuma. Tällöin tie oli painunut äkillisesti 0,3 m. Sortuma oli korjattu kevytsorakevennystä käyttäen.

Pehmeikön kohdalla luonnollinen maanpinta on tasossa +4...+5. Kuivakuorikerros on hyvin heikko ja enimmillään noin 0,5 m paksuinen. Ylimpänä maakerroksena on siltistä liejua 3-4 m syvyyteen maanpinnasta. Silttisen liejukerroksen vesipitoisuus on 130-200 % ja siipikairalla mitattu leikkauslujuus 9-15 kPa. Sen alapuolella on 2-3 m liejuista savea ja sen alapuolella savea. Kaikkiaan lieju- ja savikerrokset ulottuvat 5-12 m syvyyteen maanpinnasta. Siipikairalla mitattua lujuutta ei liejuisissa kerroksissa voi sellaisenaan käyttää laskelmissa, vaan sitä on pienennettävä laboratoriokokeiden perusteella useita kymmeniä prosentteja.

### **Projektitiedot hankkeesta**

Rakennuttaja:  
**Tielaitos, Kaakkois-Suomen tiepiiri**

Suunnittelija:  
**Inngeo Oy**

Urakoitsijat:  
\* **Tielaitos, Itä-Suomen tuotantoalue**  
\* **YIT-Yhtymä Oy, syvästabilointi**

Toteutuskustannukset: **1,5 milj. mk**  
Josta kiertotie: **0,4 milj. mk**

Syvästabilointi:  
600 mm pilareita: **9000 m**

Tietä korjattu: **200 m**  
Kiertotietä: **210 m**



*Tieosuus ennen korjausta lännestä itään päin katsottuna.*

Pohjanvahvistustoimenpiteiden leveys sallii tien mahdollisen leventämisen 13 metriin.

### **Vaurion syyt**

1960-luvulta peräisin olevista arkistoiduista laskelmista ilmeni, että siipikairauslujuuksien pienentäminen oli jäänyt tekemättä. Tämä selittää 1968 tapahtuneen sortuman. Myös sortuman korjaukseksi tehty kevytsorakevennys oli mitoitettu tekemättä tarvittavaa redusointia. Tällöin varmuuskerroin tien sortumaa vastaan on tavoitellun 1,5...1,6 sijasta ollut noin 1,2...1,3, joka on ollut liian alhainen. Tavanomaisen konsolidaatiopainuman (kuormituksesta aiheutuvan huokosveden poispuristumisen) kokonaan pysäyttämistä ei kevytsoralla tavoiteltukaan.

Kun varmuus sortumaa vastaan on niin pieni kuin tässä tapauksessa, tapahtuu tavanomaisen konsolidaatiopainuman lisäksi myös leikkausjännityksistä aiheutuvaa painumaa, itse asiassa hidasta murtumisliikettä. Vuosien mittaan tehtyjen lisäpäällystysten vaikutuksesta varmuuskerroin sortumaa vastaan oli lopulta pienentynyt noin arvoon 1,1 eli tie oli suoranaudessa sortumavaarassa.

Kun kävi ilmi, ettei kysymys ollut vain epätasaisten painumien haitallisuudesta liikenteelle, vaan myös sortumavaarasta, ryhdyttiin välittömästi korjaustoimenpiteiden rakennussuunnitteluun.



Korjausratkaisuina tutkittiin syvästabilointia, pengerpaalutusta sekä pengerkevennystä. Kunkin ratkaisuvaihtoehdon yhteydessä pohdittiin myös mahdollisuutta tehdä korjaus puoli tietä kerrallaan ja välttää kiertotien tekemistä. Koska näissä tilanteissa ei olisi voitu välttää työnaikaisen sortuman vaaraa ja liikenteelle olisi aiheutunut yksisuuntaisuudesta melkoinen haitta, päädyttiin tekemään 9 m leveää päällystetty kaksisuuntainen kiertotie korjauksen ajaksi. Sopivimmaksi korjausratkaisuksi todettiin syvästabilointi, kun se mitoitettiin melko lyhyelle lujittumisajalle. Pengerpaalutus olisi ollut kalliimpi kuin syvästabilointi ja pengerkevennys lopputulokseltaan epävarmempi, mutta suunnilleen syvästabiloinnin hintainen.

## Korjausratkaisun yksityiskohtia

Syvästabiloinnin mitoitusperusteiden selvittämisessä oli valittava joko laboratoriokokeet taikka luotettavamman tuloksen antava, mutta jonkin verran kalliimpi koepilarointi maastossa. Molempien tekemistä ei hankkeen poikkeuksellisen kireä aikataulu sallinut. Päätettiin edetä seuraavasti:

- \* Tehdään rakennussuunnitelma mahdollisimman valmiiksi jättäen auki vain pilarien k/k-väli sekä sideaineen laatu ja määrä. Urakan valmistelu tehdään tämän lähes valmiin suunnitelman pohjalta.
- \* Valitaan aikaisemmista, mahdollisimman samankaltaisista kohteista olevien kokemusten perusteella kaksi todennäköisesti sopivaa sideainetta ja kummastakin kolme mahdollista pitoisuutta.
- \* Tehdään koepilarit ja koestetaan ne noin 1 kk lujittumisen jälkeen ja tarkennetaan k/k-väli ja sideaine.

Sideaineina kokeiltiin sekä kalkkisementtiä että Lohja Rudus Ympäristöteknologia Oy:n V15:ta. V15 valittiin, koska lujuudet olivat parempia ja lisäksi tiedettiin ko. sideaineella lujittumisen olevan nopeaa, mikä kiireellisessä korjauskohteessa on hyvä ominaisuus. Koepilaroinnin koestustietojen perusteella sideaineen määräksi valittiin 600 mm pilarille 50 kg/m ja pilarien leikkauslujuustavoitteeksi asetettiin 90 kPa. Varsinaisessa pilaroinnissa lujuustavoitteet ylitettiin. Pengertäytteen paikoittainen kivisyys hankaloitti työtä.

Maatutkaluotauksella ja näytteenotolla tarkistettiin 1960-luvulla tehdyn kevytsorakevennyksen toteutuminen. Suunnitteluvaiheessa ei tullut tietoon muita hankkeita, joissa kevytsoraa olisi tarvittu, joten se hyödynnettiin uudelleen tällä kohteella. Ratkaisuksi tuli pilarien jättäminen pehmeön syvimmillä kohdalla määrämittäisiksi ja kevytsoran uudelleen pengertäminen näiden pilarien kohdalle. Määrämittaisten pilarien ja kevennyksen yhteisvaikutuksesta päästään näilläkin kohdilla lähes painumattomaan penkereeseen.

Koska maaperä on hyvin pehmeää ja kuivakuorikerros lähes olematon, työn vaikeimpia osia oli kiertotien tekeminen. Kiertotien tekeminen ilman erikoistoimenpiteitä oli mahdotonta ja pohjanvahvistusten tekemistä lyhytaikaista tarvetta varten pyrittiin välttämään. Ratkaisuksi valittiin ns. itäpellin (alunperin venäläisen tilapäisten sotilaslentokenttien rakentamiseen tarkoitetun) käyttö kiertotien lujitteena. Kiertotien kohta pidettiin alkutalvella puhtaana lumesta ja pinnan jäätyminen helpotti kiertotien rakentamista. Kevään tullen kiertotien kantavuus huononi pohjamaan sulaessa ja tien pintaan syntyi yhä pahentunutta epätasaisuutta, mutta järeän lujiteratkaisun ansiosta kiertotie pysyi liikennöitävässä kunnossa. Kiertotien purkamisen jälkeen lujitepellit kerättiin talteen uudeen käytettäväksi.

Varsinainen korjausurakka aloitettiin 2.2.1998. Syvästabilointityö aloitettiin 16.3.1998. Korjauksen jälkeen tie avattiin uudestaan liikenteelle 8.5.1998 ja kiertotien purku ym. viimeistelytyöt valmistuivat 27.5.1998.

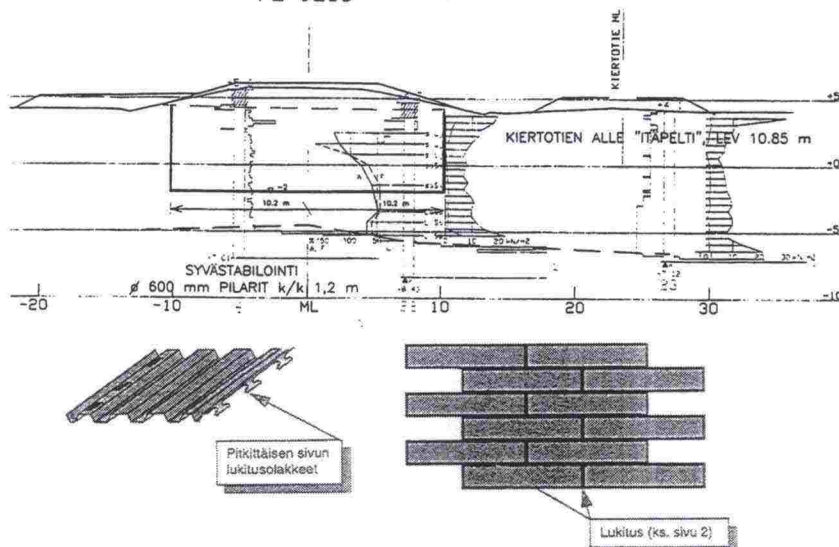
PL 9200

## Lisätietoja kohteesta

Tielaitos, Kaakkois-Suomen tiepiiri  
Jorma Juutilainen, puh. 0204 44 6229

Tielaitos, Itä-Suomen tuotantoalue  
Matti Koikkalainen, puh. 05 3684338

Innogeo Oy  
Antti Junnila, puh. 09 4362955



Poikkileikkaus tiepenkereestä ja kiertotiestä sekä lujitteena käytetyn "itäpellin" periaatepiirros. Pellin paksuus 3,5 mm.



# HERTSBYN SEINÄSTABILOINTI

GEOTEKNISET ERITYISRATKAISUT

## Kohteen yleiset tiedot

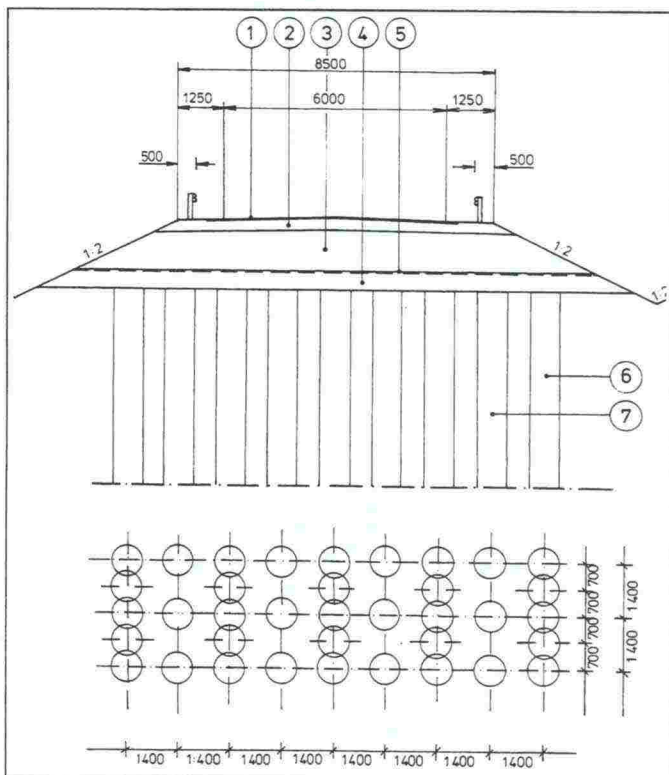
**Suunnittelija:** Anssi Honkala, Mikko Smura  
**Uudenmaan tiepiiri**  
**Rakentaja:** Uudenmaan tiepiiri  
**Sillanpää Oy**  
**Ajankohta:** 95-96

### 1. KOHTeen kuvaus

Paikallistie 11737 kulkee kohtisuoraan Sipoonjoen yli. Tieosuus sijoittuu pohjasuhteiltaan hyvin hankalaan eli mielenkiintoiseen paikkaan, jossa jo luonnontilaiset luiskat ovat sortuneet. Vakavuustarkastelujen perusteella joen penkat ovat asettuneet kaltevuuteen jossa ne juuri ja juuri pysyvät.

### 2. TEHDYT TUTKIMUKSET

Tiealueesta tehtiin hyvin kattavat pohjatutkimukset. Normaalien tutkimusten lisäksi tehtiin mm. kolmiaksaali- ja ödometrikokeita, joista määritettiin myös kriittisen tilan parametrit.



Kuva 2: Periaatekuva pohjanvahvistustöistä



Kuva 1: Työt käynnissä, etualalla stabilointikone, taka-alalla kevennysleikkauksen tekoa

### 3. TUTKIMUSTEN JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUUNNITTELURATKAISUT

Tutkimusten perusteella jätettiin tien paaluttaminen pois suunnitteluratkaisusta sen aiheuttaman sortumavaaran takia. Suunnittelutyön tuloksena päädyttiin ratkaisuun, jossa tien alle tehtiin lamellistabilointi. Tien pituussuuntaisten voimien vastaanottamiseksi tehtiin tien pituussuuntaan syvästabilointipilareilla yhtenäiset seinärakenteet kuvan 2 mukaisesti. Seinärakenteiden välimatka on 2.8 m. Yhtenäisten seinien väliin tehtiin yksittäisiä pilareita 1.4 metrin välein. Stabiloinnin päälle asennettiin Stabilenka 200/200 vahvistekangas. Ennen pilarointia tehtiin kevennysleikkaukset noin 40 metrin leveydeltä joen molemmin puolin. Tällä parannettiin luonnonmaan vakavuutta niin, että mahdollisia sortumia ei tapahtuisi pohjanvahvistusten välittömässä läheisyydessä.



**4. RAKENNUSTYÖN SUORITUS JA VALVONTAMENETELMÄT**

Kevennysleikkauksen teon jälkeen aloitettiin stabilointityö. Stabiloinnin vaikutuksia seurattiin teialueelle asennetuista huokosvedenpainemittareista ja siirtymämittareista.

Huokosvedenpainemittareista huomattiin stabiloinnin aiheuttavan huomattavan suuria paineen nousuja. Paineen nousu aiheutti pohjamaan pitkäaikaisen leikkauslujuuden laskua. Työjärjestystä muuttamalla huolehdittiin siitä, että paineiden nousu ei tapahtunut liian suurella alueella. Siirtymämittauksista seurattiin maapohjan liikkeitä mahdollisen sortumavaaran havaitsemiseksi. Siirtymät tien pituussuunnassa olivat maksimissaan noin 40 mm ja tien poikkisuunnassa 80 mm. Stabiloinnin jälkeen osa siirtymistä palautui.

**5. PILARINTIEN LAADUNVALVONTAMENETELMÄT**

Pilarien laatua analysoitiin sideainemenekillä, puristin-heijarilla ja CPTU-laitteistolla. Lisäksi 5:stä pilarista tehtiin analyysi ns. DYLA-mittauksella, jossa pilarin lujuutta ja muodonmuutosominaisuuksia analysoidaan iskujärkäleen aiheuttaman puristus- ja heijastusaaltojen käyttäytymisen perusteella.



Kuva 4: Joentörmän sortuma pilarointialueen vieressä

**YHTEENVETO POHJANVAHVISTUSTOIMENPITEISTÄ**

Syvästabilointia 800mm 15 000m

tavoitepuristuslujuus 300 kPa

syvimmat pilarit 21 m

Lujitekangasta Stabilenka 200/20

Kevennysleikkausta 7000 m<sup>3</sup>



Kuva 3: Huokosvedenpaineputket pilarointialueen vieressä

**6. TYÖNAIKAISIA HUOMIOITA**

Työskentelyalueella tapahtui kaksi työnaikaista sortumaa. Toinen tapahtui pilarointialueen vieressä joentörmässä ja toinen leikkausluiskassa pitkään jatkuneiden sateiden seurauksena. Sortumat osoittivat pohjanvahvistustöiden tarpeellisuuden ja alueen häiriintymisherkkyuden.

Pilarointityön seuranta osoitti, että huokospaineiden kasvu tulisi ottaa huomioon silloin kun pilarointialueella vakavuudet ovat heikkoja. Työnaikaisissa mittauksissa tulee huomioida, että yhtenäisen lamellin teko aiheuttaa maan pinnalla jopa 100mm siirtymiä. Tämän vuoksi mittatikut tulee tarkistaa riittävän usein.



Kuva 5: DYLA-mittaukset käynnissä



# VT 7, TESJOEN SUORAN PAINUMAKORJAUKSET, RUOTSINPYHTÄÄ

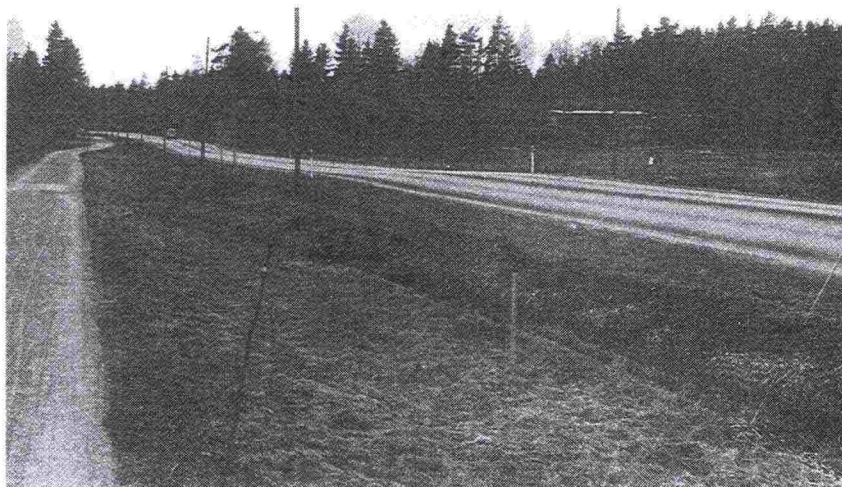
## Yleistä

Valtatietä 7 parannettiin 1,6 km:n matkalla Tesjoella, Ruotsinpyhtäällä vuonna 1990.

Toimenpiteiden tarkoitus oli korjata liikennettä haittaavat painumat ja tulva-aikoina esiintyneet kuivatusongelmat.

Kuivatuksen parantamiseksi tien tasausviivaa korotettiin enimmillään 0,5 m.

Myöhempien painumien estämiseksi tai pienentämiseksi käytettiin syvästabilointia kalkkisementtipilareilla sekä pengerkevennyksiä kevytsoralla ja kevytsorabetonilla.



Tieosuus ennen korjausta (1988).

## Projektitiedot hankkeesta

Rakennuttaja:  
**Uudenmaan tiepiiri**

Suunnittelija:  
**Viatek Oy 1989**

Urakoitsijat:  
• **Uudenmaan tiepiiri pääosin,**  
• **Piippo & Pakarinen,**  
syvästabilointi

Pohjanvahvistuskustannukset:  
**5 milj. mk**

Kokonaiskustannukset:  
**12 milj. mk**

Päätieta: **1,6 km**

Sivuteita: **0,4 km**

Alikulkukäytäviä: **1 kpl**

Kiertoteitä: **1,6 km**

Kalkkisementtipilareita: **36 000 m**

Kevytsoraa: **10 000 m³**

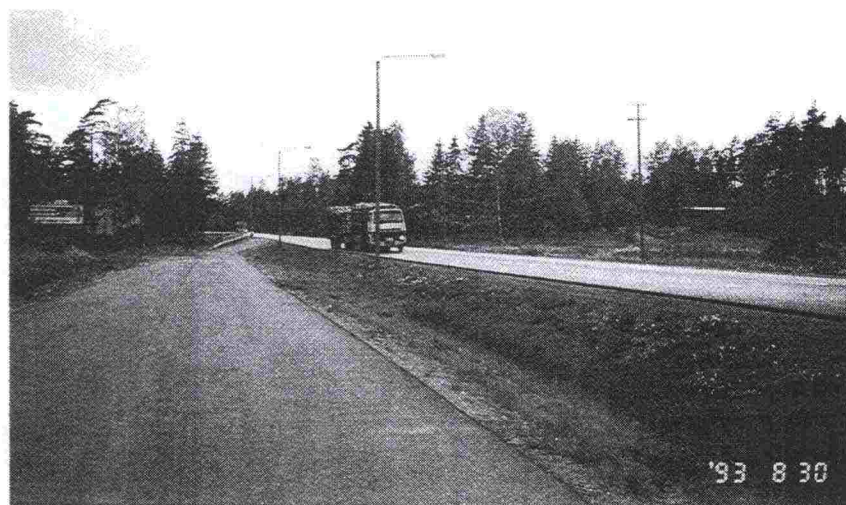
Kevytsorabetonia: **2 000 m³**

## Maaperäolosuhteet

Korjaustoimenpiteiden alue on Taasianjokilaakson alavaa savi-pehmeikköä, jolla luonnollisen maapinnan korkeustaso on +4 ... +8. Savikerroksen paksuus vaihtelee 4 - 16 m. Savi on enimmäkseen hyvin pehmeää. Sen leikkauslujuus vaihtelee pääasiassa 5 - 12 kPa. Saven vesipitoisuus vaihtelee 70 ... 150 %.

Kuivakuorikerroksen paksuus on alueella alle 1 m.

Tie oli rakennettu vuonna 1968. Korjausajankohtaan 1990 mennessä oli alueella tapahtunut 400 - 900 mm suuruisia painumia.



Tieosuus korjauksen jälkeen (1993).



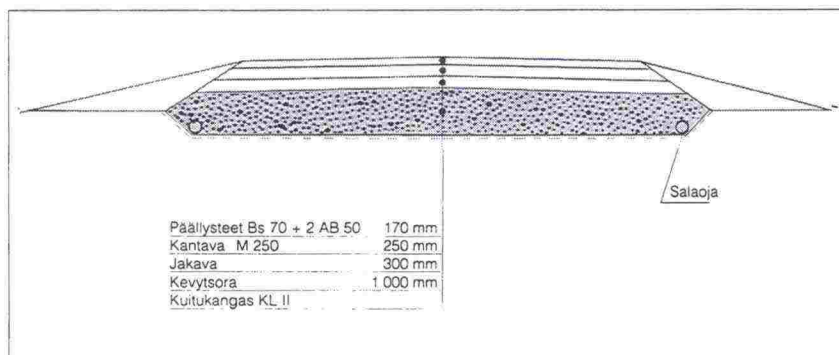
## Ratkaisujen valintaperusteita

Tien korjauksessa käytetyt pohjarakennusratkaisut valittiin teknisten ja taloudellisten tarkastelujen perusteella.

Pengertä kevennettiin kevytsoralla siellä, missä kevennyksellä pystyttiin riittävissä määrin kompensoimaan penkereen korotuksesta aiheutuva kuormituslisäys. Kevytsorapenkereen päällä käytettiin 720 mm paksuista päällysrakennetta. Sellaisilla kohdilla, joilla tällainen kevennysratkaisu olisi johtanut pengertäytteen ja kuivakuoren puhkaisevaan kaivantoon, kevennyksen yläosa tehtiin 500 mm paksuudelta kevytsorabetonista. Tällöin päällysrakenne saatiin ohuemmaksi, eikä kuormituksen kompensointi edellyttänyt yhtä syvää kaivantoa. Kevytsorabetonin päällä käytettiin 420 mm paksuista päällysrakennetta, mikä oli suhteellisen varovainen ratkaisu. Ohuempaan rakenteeseen katsottiin mahdollisesti liittyvän liukkausriskin.

Painumattomille osuuksille tehtiin päällysrakenteen uusimisen yhteydessä tavallista paksumpi päällystekerros, jota tarvittaessa voidaan jyräsi ohuemmaksi, jos viereiset penkereenosat jatkavat painumista.

Tie perustettiin syvästabilointia käyttäen siellä, missä penkereen korotus tuli niin suureksi, ettei kevennysratkaisulla olisi saatu painumia pysymään riittävän pieninä tai pehmeikkö oli siinä määrin matala, että syvästabilointi tuli kustannuksiltaan edulliseksi. Syvästabiloinnissa käytettiin halkaisijaltaan 500 mm kalkkisementti-



Rakenneleikkaus

pilareita, joille sallittiin kuormitusta 30 kN/pilari. Sideaineen määrä pilarimetriä kohden oli 8,5 kg sementtiä ja 8,5 kg kalkkia. Pilarointi oli mitoitettu laboratoriotutkimusten perusteella. Työn aikana tehtiin valvontakairauksia, joiden tulokset viittasivat siihen, että pilarit olivat keskimäärin lujittuneet jonkin verran alle tavoitteen. Penger tehtiin kuitenkin suunnitelman mukaisesti ja lopputulos on ollut hyvä.

## Nopea toteutus

Myös työn aikana käytetyillä tilapäisillä kiertoteillä tarvittiin paikoin pohjanvahvistustoimenpiteitä. Kiertoteiden melko vähäiset pohjanvahvistukset oli suunniteltu sitä silmälläpitäen, että hanke toteutetaan talvityönä ja routa parantaa kiertotien kantavuutta. Työ ajoittui poikkeuksellisen lauhaan helmi-kuuhun 1990 ja kiertotietä jouduttiin paikkaamaan useita kertoja työn aikana. Runsaat sateet teki-

vät myös kaivantojen kuivanapidon työlääksi. Roudan sulaminen aiheutti kiertotien kantavuuden heikkenemisen. Kevennyspenger jouduttiin rakentamaan erittäin nopealla aikataululla, jotta valtatien liikennöitävyys saatiin varmistettua. Leca-soraa ajettiin yhden työvuoron aikana n. 4 000 m<sup>3</sup> työmaalle, jolloin liikennöitävyys varmistui.

## Jälkiseuranta

Tien painumia on vaaittu useita kertoja korjauksen jälkeen. Painumat ovat olleet pieniä ja korjaus näyttää täyttäneen asetetut tavoitteet. Yhteenveto eri tieosuuksien pohjanvahvistusratkaisusta ja jälkipainumista on esitetty oikeassa taulukossa.

## Jälkipainumat eri pohjanvahvistusosuuksilla

Plv.	Pohjanvahvistus	Painuma 30.5.1990 - 28.8.1991 vasen/oikea reuna
3700-3815	Kevytsora	27 mm/ 34 mm
3842-4042	Syvästabilointi	27 mm/ 27 mm
4206-4386	Kevytsora	14 mm/ 27 mm
4550-4670	Kevytsorabetoni	10 mm/ 10 mm
4725-4820	Kevytsorabetoni	23 mm/ 23 mm
4860-4970	Kevytsorabetoni	29 mm/ 34 mm
5080-5200	Kevytsora	9 mm/ 14 mm
5246-5292	Kevytsora	16 mm/ 11 mm



Kevytsorabetonin rakentaminen käynnissä



1. JOHDANTO	"Kehä II - Alue 1"	"Kehä II - Alue 2"	"Kehä II - Alue 3-5"	"Klaukkala"	"Kymmin asema"	"Purola"	"VT1 Hu-Ha"	"Sundsbro"	"VT 8"	
Tunniste:										
-suunniteltu / -rakennettu	-96 / -96-97	-96 / -96-97	-96 / -96-97	-93 / -94-96	-97 / -97	-97 / -97-98	-98 / -	-97 / -	-95 / ?	
-syvästabilointia yhteensä	n. 132 000	n. 151 000	n. 52 500	?	n. 30 000	n. 30 000	n. 150 000	n. 12 000	n.100 000 (?)	jm
<b>2. PILAROINNIN KUVAUS</b>										+ vaadittu / - ei mainintaa
- stabiloinnin käytön tavoite (painumat / stabiliteetti)	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	
- pilarihalkaisija / kk-väli	600 / 0,8...1,1	600 / 0,8...1,2	600 / 0,9...1,1	600/0,8...1,0	600 / 1,0	600 / 0,7...1,5	600/0,8...1,5	600 / 1,2...1,5	600 / 0,9...1,2	mm / m
- pilaripituus	... 10	... 20	... 20	4...16	2...16	5...11	3...>15	2...16	3...10	m
- stabilointi saven alapintaan / määrämittaisena	+ / -	+ / -	+ / -	+ / +	+ / -	+ / -	+ / +	+ / -	+ / +	
- yksittäiset pilarit / -pilarointi lamelleina tms.	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	+ / +	+ / -	+ / -	+ / -	+ / -	
<b>3. PILAROINNIN TYÖTAVAT</b>										
<b>3.1 Nousunopeus</b>										
- nousunopeus ylös- / alaspäin / -kierrosnopeus	15 / - / -	15 / - / -	15 / - / -	20 / 100 / -	15 / 100 / -	20 / - / -	15 / - / 65	20 / - / -	20 / - / -	mm/kierros / krs/min
<b>3.2 Syöttöpaine ja ilmamäärä</b>										
- syöttöpaine / -ilmamäärä	-	-	-	- / -	- / -	- / -	max. 300 / -	- / -	270 / -	kPa
<b>3.3 Sideaineen syöttömäärän tarkkuus</b>										
-keskim. sideainepoikkeama / -sall. yksittäispoikk.	±5 / ±10	±5 / ±10	±5 / ±10	±5 / ±10	±5	±5 / ±10	±2,5 / -	±5 / -	- / ±4	%/m
<b>3.4 Pilarien paikalleenmittaus ja sij.toleranssit</b>										
- nurkkien sallittu sij. poikkeama	-	-	-	0,30	0,30	-	± 0,30	0,30	-	m teoreettisesta
- yksittäisen pilarivälin sallittu sij. poikkeama	± 0,05...0,2	± 0,05...0,2	± 0,05...0,2	0,20	0,10	0,20	± 0,2	0,10	±0,20	m teoreettisesta
- kaltevuuden enimmäispoikkeama	20	20	20	30	-	20	15	-	30	mm/m
<b>3.5 Työnaikainen dokumentointi ja valvonta</b>									(TYLT 6260)	
- pilarien tunnistus / uudelleen tehty pilarit	+ / -	+ / -	+ / -	+ / +	+ / +	+ / +	+ / -	+ / +	+ / +	
- sijainti / -ylä- ja alapääntasot	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	
- sideaineen syöttömäärä / -syöttöpaine	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	+ / -	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +	
- mahd. katkokset sideaineen syötössä	-	-	-	+	+	+	-	+	-	
- sideaine-erän määrä ja laatu	-	-	-	+	+ / +	+ / +	-	+ / +	-	
- pilarin tekopäivä / -sää tekoaikana	+ / -	+ / -	+ / -	+ / +	+ / +	+ / +	+ / -	+ / +	-	
- muut työnaikaiset valvontatoimenpiteet	-	-	-	+	-	-	-	-	-	
- urakoitsija laatii laatusuunnitelman	-	-	-	-	-	-	+	-	-	
<b>4. SUUNNITTELULEIKKAUSLUJUUS (τ)</b>	100	120	100	100 (1 kk)	146	100	120, 140 ja 150	100	50	kPa
<b>5. STABILOITUVUUSTUTKIMUKSET</b>										
- laboratoriotutkimukset	+	+	?	+	+	+	+	+	+	+ tehty / - ei tehty
- tutkitut sideaineet / määrät / lujittumisajat / pisteet	1. vaihe: 4/1/1/4 2. vaihe: 3/3/2/4	1. vaihe 6/1/1/2 2. vaihe 3/3/2/2	?	TIEL. arkistossa	7 / 1..3 / 2 / 4	2 / 2 / 3 / 4	2 / 1 / 3 / >16	3 / 2 / 2 / 2	1 / 2 / 2 (?) / 6	kpl / kpl / kpl / kpl
- valittu sideaine	Nordkalk NK3	CaO+YSe 1:1	③Nordkalk NK3 / ④ ja ⑤CaO+YSe	CaO+YSe 1:1	Lohjamix V15	Cao+YSe 1:1	Lohjamix K2	Lohjamix V15	CaO + YSe	
- valittu sideainemäärä	150	125	③ 125/④ 100/⑤ 125	120	120	100	150	100	150	kg / m <sup>3</sup>
- valitulla sideaineella saatu lujuus (τ) labrassa	113..281 (125 kg/m <sup>3</sup> )	126..127 (30 vrk)	?	?	213	110...185 (30)	150-310/155-285/245-295	94...353	68...162 (90 vrk)	kPa (vrk)
- koepilaroinnit	+	+	+ (alueet 3 ja 5)	-	-	-	-	-	?	
- saavutettu lujuus (τ) koepilareissa valitulla side:lla	100...200	20..170 (30 vrk)	80..180 (⑤, 60 vrk)	-	-	-	-	-	?	kPa / kPa
<b>6. LAADUNVALVONTAMENETELMÄT</b>										
- pilarisiipikairaus / -pilarikairaus / CPTU	≥1/0,2 % tai ≥6	≥1/0,2 % tai ≥6	≥1/0,2% tai ≥6/-	2...4 / 6...10 / -	5 / 15 (1 kk)	2/6 tai >0,2%/-	2 / 6 / -	1 %/0,5 % / -	- / 2 / -	kpl / tutkittava alue
- saav. lujuus (τ) tuotantopilareissa valitulla side:lla	-	80..200/90..500/-	?	-	120..170(z<4m) 90..100(z>4m)	85..>150/120.180/-	-	-	?	kPa pilarisiipik./pilarik./CPTU
<b>7. MAAPERÄKUVAUS</b>										
- kerrospaksuudet (stabiloitavat kerrokset)	...10	...20	...8	1 / 4...14	1 / 3 / <12m	2 / 4...10	1,6...25	1 / 5...14	1 / 5...9	kuivak. / 2. kr. / 3. kr. / ...
- maalajit	ljSa...Sa	siLj...liSa	ljSa...liSa	Sa	ljSa/ljSi/la...liSa	ljSa/liSa	Sa	Tv+Lj / liSa+ljSa	liSa	kuivak. / 2. kr. / 3. kr. / ...
- leikkauslujuudet	5...10 (min.)	7...8 (min.)	5...12 (min.)	- / 17...24	-/11..23/2...10	80 / 20...25	9...24	6...13	- / 7...25	kuivak. / 2. kr. / 3. kr. / ...
- vesipitoisuudet	26...139	38...206	21...142	60...110	44...107	40..70 / 60..100	28...103	200..400/90..140	68...111	%
- humuspitoisuudet	0...7,3	0...12,8	0...2,2	?	0,8...6,2	?	0...3,9	0...2,2	0,8...1,8	%
<b>8. RAKENTEIDEN SEURANTA</b>	-	-	-	-	- (?)	-	-	-	?	



- Alue 1: Kehä II - plv. 1346-1756, Ramppi E5/R1 - plv. 320-385 ja E5/R2 - plv. 140-195, J15 - plv. 5-50
- Tilaaja: Uudenmaan tiepiiri ja K8k (rumpu) - plv. 1393-1420
- Suunnittelija: Viatek Oy / Ilkka Suutarinen

<b>1. JOHDANTO</b>	<i>Tunnis-</i>	<i>"Kehä II - Alue 1"</i>	
<i>te:</i>			
-suunniteltu / -rakennettu		1996 / 1996-97	
-syvästabilointia yhteensä		n. 132 000	jm
<b>2. PILAROINNIN KUVAUS</b>		<i>selitys:</i>	+ vaadittu / - ei mainintaa
- stabiloinnin käytön tavoite (painumat / stabiliteetti)		+ / +	
- pilarihalkaisija / kk-väli		600 / 0,8...1,1	mm / m
- pilaripituus		... 10	m
- stabilointi saven alapintaan / määrämittaisena		+ / -	
- yksittäiset pilarit / -pilarointi lamelleina tms.		+ / -	
<b>3. PILAROINNIN TYÖTAVAT</b>			
<b>3.1 Nousunopeus</b>			
- nousunopeus ylös- / alaspäin / -kierrosnopeus		15 / - / -	mm/kierros / krs/min
<b>3.2 Syöttöpaine ja ilmamäärä</b>			
- syöttöpaine / -ilmamäärä		-	kPa
<b>3.3 Sideaineen syöttömäärän tarkkuus</b>			
-keskim. Sideainepoikkeama / -sall. yksittäispoikk.		5 / 10	%/m
<b>3.4 Pilarien paikalleenmittaus ja sij.toleranssit</b>			
- nurkkien sallittu sij. poikkeama		-	m teoreettisesta
- yksittäisen pilarivälin sallittu sij. poikkeama		± 0,05...0,2	m teoreettisesta
- kaltevuuden enimmäispoikkeama		20	mm/m
<b>3.5 Työnaikainen dokumentointi ja valvonta</b>			
- pilarien tunniste / uudelleen tehdyt pilarit		+ / -	
- sijainti / -ylä- ja alapääntasot		+ / +	
- sideaineen syöttömäärä / -syöttöpaine		+ / +	
- mahd. katkokset sideaineen syötössä		-	
- sideaine-erän määrä ja laatu		-	
- pilarin tekopäivä / -sää tekoaikana		+ / -	
- muut työnaikaiset valvontatoimenpiteet		-	
- urakoitsija laatii laatusuunnitelman		-	
<b>4. SUUNNITTELULEIKKAUSLUJUUS (τ)</b>		100	kPa
<b>5. STABILOITUVUUSTUTKIMUKSET</b>			
- laboratoriotutkimukset		+	+ tehty / - ei tehty
- tutkitut sideaineet / määrät / lujittumisajat / pisteet		1. vaihe: 4 / 1 / 1 / 4 2. vaihe: 3 / 3 / 2 / 4	kpl / kpl / kpl / kpl
- valittu sideaine		Nordkalk NK3	
- valittu sideainemäärä (alustava)		150	kg / m <sup>3</sup>
- valitulla sideaineella saatu lujuus (τ) labrassa		113...281 (125 kg/m <sup>3</sup> ) / -	kPa (vrk)
- koepilaroinnit		+	
- saavutettu lujuus (τ) koepilareissa valitulla side:lla		100...200	kPa / kPa
<b>6. LAADUNVALVONTAMENETELMÄT</b>			
- pilarisiipikairaus / -pilarikairaus / CPTU		≥1 / 0,2 % tai ≥6	kpl / tutkittava alue
- saav. lujuus (τ) tuotantopilareissa valitulla side:lla		-	kPa pilarisii- pik./pilarik./CPTU
<b>7. MAAPERÄKUVAUS</b>			
- kerrospaksuudet (stabiloitavat kerrokset)		...10	kuivak. / 2. kr. / 3. kr. / ...
- maalajit		ljSa...Sa	kuivak. / 2. kr. / 3. kr. / ...
- leikkauslujuudet		5...10 (min.)	kuivak. / 2. kr. / 3. kr. / ...
- vesipitoisuudet		26...139	%
- humuspitoisuudet		0...7,3	%
<b>8. RAKENTEIDEN SEURANTA</b>		-	



- Alue 2: Kehätie - plv. 2206-2578, Ramppi E3/R3 - plv. 219-246, K9k (rumpu)- plv. 678-708, Erillinen
- Tilaaja: Uudenmaan tiepiiri Sv - plv. 2380-2565, Meluvalli - plv. 2560-2580
- Suunnittelija: Viatek Oy / Ilkka Suutarinen

<b>1. JOHDANTO</b>	<i>Tunnis-</i>	<i>"Kehä II - Alue 2"</i>	
te:			
-suunniteltu / -rakennettu		1996 / 1996-97	
-syvästabilointia yhteensä		n. 151 000	jm
<b>2. PILAROINNIN KUVAUS</b>		<i>selitys:</i>	<i>+ vaadittu / - ei mainintaa</i>
- stabiloinnin käytön tavoite (painumat / stabiliteetti)		+ / +	
- pilarihalkaisija / kk-väli		600 / 0,8...1,2	mm / m
- pilaripituus		... 20	m
- stabilointi saven alapintaan / määrämittäisenä		+ / -	
- yksittäiset pilarit / -pilarointi lamelleina tms.		+ / -	
<b>3. PILAROINNIN TYÖTAVAT</b>			
<b>3.1 Nousunopeus</b>			
- nousunopeus ylös- / alaspäin / -kierrosnopeus		15 / - / -	mm/kierros / krs/min
<b>3.2 Syöttöpaine ja ilmamäärä</b>			
- syöttöpaine / -ilmamäärä		-	kPa
<b>3.3 Sideaineen syöttömäärän tarkkuus</b>			
-keskim. Sideainepoikkeama / -sall. yksittäispoikk.		5 / 10	%/m
<b>3.4 Pilarien paikalleenmittaus ja sij.toleranssit</b>			
- nurkkien sallittu sij. poikkeama		-	m teoreettisesta
- yksittäisen pilarivälin sallittu sij. poikkeama		± 0,05...0,2	m teoreettisesta
- kaltevuuden enimmäispoikkeama		20	mm/m
<b>3.5 Työnaikainen dokumentointi ja valvonta</b>			
- pilarien tunniste / uudelleen tehdyt pilarit		+ / -	
- sijainti / -ylä- ja alapääntasot		+ / +	
- sideaineen syöttömäärä / -syöttöpaine		+ / +	
- mahd. katkokset sideaineen syötössä		-	
- sideaine-erän määrä ja laatu		-	
- pilarin tekopäivä / -sää tekoaikana		+ / -	
- muut työnaikaiset valvontatoimenpiteet		-	
- urakoitsija laatii laatusuunnitelman		-	
<b>4. SUUNNITTELULEIKKAUSLUJUUS (τ)</b>		120	kPa
<b>5. STABILOITUVUUSTUTKIMUKSET</b>			
- laboratoriotutkimukset		+	+ tehty / - ei tehty
- tutkitut sideaineet / määrät / lujittumisajat / pisteet		1. vaihe 6 / 1 / 1 / 2 2. vaihe 3 / 3 / 2 / 2	kpl / kpl / kpl / kpl
- valittu sideaine (koepilaroinnin jälkeen)		CaO+YSe 1:1	
- valittu sideainemäärä		125	kg / m <sup>3</sup>
- valitulla sideaineella saatu lujuus (τ) labrassa		126...127 (30 vrk)	kPa (vrk)
- koepilaroinnit		+	
- saavutettu lujuus (τ) koepilareissa valitulla side:lla		20..170 (30 vrk)	kPa
<b>6. LAADUNVALVONTAMENETELMÄT</b>			
- pilarisiipikairaus / -pilarikairaus / CPTU		≥1 / 0,2 % tai ≥6	kpl / tutkittava alue
- saav. lujuus (τ) tuotantopilareissa valitulla side:lla		80..200 / 90..500 /-	kPa pilarisiipik./pilarik./CPTU
<b>7. MAAPERÄKUVAUS</b>			
- kerrospaksuudet (stabiloitavat kerrokset)		...20	kuivak. / 2. kr. / 3. kr. / ...
- maalajit		siLj...liSa	kuivak. / 2. kr. / 3. kr. / ...
- leikkauslujuudet		7...8 (min.)	kuivak. / 2. kr. / 3. kr. / ...
- vesipitoisuudet		38...206	%
- humuspitoisuudet		0...12,8	%
<b>8. RAKENTEIDEN SEURANTA</b>		-	



- Alue 3: Kehätie - plv. 2636-2824, Erillinen Sv - pl. 2760, Alue 4: Kehätie - plv. 3100-3171, Erillinen Sv
- Tilaaja: Uudenmaan tiepiiri - pl. 3100 Alue 5: Ramppi E5/R3 - plv. 394-450
- Suunnittelija: Viatek Oy / Ilkka Suutarinen

<b>1. JOHDANTO</b>	<i>Tunniste:</i>	"Kehä II - Alue 3-5"	
-suunniteltu / -rakennettu		1996 / 1996-97	
-syvästabilointia yhteensä		n. 52 500	jm
<b>2. PILAROINNIN KUVAUS</b>		<i>selitys:</i>	+ vaadittu / - ei mainintaa
- stabiloinnin käytön tavoite (painumat / stabiliteetti)		+ / +	
- pilarihalkaisija / kk-väli		600 / 0,9...1,1	mm / m
- pilaripituus		... 20	m
- stabilointi saven alapintaan / määrämittaisena		+ / -	
- yksittäiset pilarit / -pilarointi lamelleina tms.		+ / -	
<b>3. PILAROINNIN TYÖTAVAT</b>			
<b>3.1 Nousunopeus</b>			
- nousunopeus ylös- / alaspäin / -kierrosnopeus		15 / - / -	mm/kierros / krs/min
<b>3.2 Syöttöpaine ja ilmamäärä</b>			
- syöttöpaine / -ilmamäärä		-	kPa
<b>3.3 Sideaineen syöttömäärän tarkkuus</b>			
-keskim. Sideainepoikkeama / -sall. yksittäispoikk.		5 / 10	%/m
<b>3.4 Pilarien paikalleenmittaus ja sij.toleranssit</b>			
- nurkkien sallittu sij. poikkeama		-	m teoreettisesta
- yksittäisen pilarivälin sallittu sij. poikkeama		± 0,05...0,2	m teoreettisesta
- kaltevuuden enimmäispoikkeama		20	mm/m
<b>3.5 Työnaikainen dokumentointi ja valvonta</b>			
- pilarien tunniste / uudelleen tehdyt pilarit		+ / -	
- sijainti / -ylä- ja alapääntasot		+ / +	
- sideaineen syöttömäärä / -syöttöpaine		+ / +	
- mahd. katkokset sideaineen syötössä		-	
- sideaine-erän määrä ja laatu		-	
- pilarin tekopäivä / -sää tekoaikana		+ / -	
- muut työnaikaiset valvontatoimenpiteet		-	
- urakoitsija laatii laatusuunnitelman		-	
<b>4. SUUNNITTELULEIKKAUSLUJUUS (<math>\tau</math>)</b>		100	kPa
<b>5. STABILOITUVUUSTUTKIMUKSET</b>			
- laboratoriotutkimukset		? (alueilla 1 ja 2 tehty)	+ tehty / - ei tehty
- tutkitut sideaineet / määrät / lujittumisajat / pisteet		?	kpl / kpl / kpl / kpl
- valittu sideaine		③ Nordkalk NK3/ ④ ja ⑤ CaO+YSe	
- valittu sideainemäärä		③ 125 / ④ 100 / ⑤ 125	kg / m <sup>3</sup>
- valitulla sideaineella saatu lujuus ( $\tau$ ) labrassa		?	kPa (vrk)
- koepilaroinnit		+ (alueet 3 ja 5)	
- saavutettu lujuus ( $\tau$ ) koepilareissa valitulla sidea:lla		80...180 (⑤, 60 vrk)	kPa
<b>6. LAADUNVALVONTAMENETELMÄT</b>			
- pilarisiipikairaus / -pilarikairaus / CPTU ( $\approx$ 2 kk)		$\geq 1$ / 0,2 % tai $\geq 6$ / -	kpl / tutkittava alue
- saav. lujuus ( $\tau$ ) tuotantopilareissa valitulla sidea:lla		?	kPa pilarisii- pik./pilarik./CPTU
<b>7. MAAPERÄKUVAUS</b>			
- kerrospaksuudet (stabiloitavat kerrokset)		...8	kuivakuori / 2. kr. / 3. kr. / ...
- maalajit		ljSa...liSa	kuivakuori / 2. kr. / 3. kr. / ...
- leikkauslujuudet		5...12 (min.)	kuivakuori / 2. kr. / 3. kr. / ...
- vesipitoisuudet		21...142	%
- humuspitoisuudet		0...2,2	%
<b>8. RAKENTEIDEN SEURANTA</b>		-	

- Kirkkotie plv 500...530, 563...640 ja 676,5...800, Klaukkalantie plv 2905...2940 ja 3010...3030
- Tilaja: Uudenmaan tiepiiri ja Lahnuksen liittymän alue
- Suunnittelija: Viatek Oy / Simo Hoikkala ja Mikko Leppänen

1. JOHDANTO	Tunnus-	"Klaukkala"	
te:			
-suunniteltu / -rakennettu		1993 / 1994-96	
-syvästabilointia yhteensä		?	jm
<b>2. PILAROINNIN KUVAUS</b>		selitys:	+ vaadittu / - ei mainintaa
- stabiloinnin käytön tavoite (painumat / stabiliteetti)		+ / +	
- pilarihalkaisija / - kk-väli		600 / 0,8...1,0	mm / m
- pilaripituus		4...16	m
- stabilointi saven alapintaan / määrämittaisena		+ / +	
- yksittäiset pilarit / -pilarointi lamelleina tms.		+ / -	
<b>3. PILAROINNIN TYÖTAVAT</b>			
<b>3.1 Nousunopeus</b>			
- nousunopeus ylös- / alaspäin / -kierrosnopeus		20 / 100 / -	mm/kierros / krs/min
<b>3.2 Syöttöpaine ja ilmamäärä</b>			
- syöttöpaine / -ilmamäärä		- / -	
<b>3.3 Sideaineen syöttömäärän tarkkuus</b>		-	
-keskim. sideainepoikkeama / -sall. yksittäispoikk.		±5 / ±10	%
<b>3.4 Pilarien paikalleenmittaus ja sij.toleranssit</b>			
- nurkkien sallittu sij. poikkeama		0,30	m teoreettisesta
- yksittäisen pilarivälin sallittu sij. poikkeama		0,20	m teoreettisesta
- kaltevuuden enimmäispoikkeama		30	mm/m
<b>3.5 Työnaikainen dokumentointi ja valvonta</b>			
- pilarien tunniste / uudelleen tehdyt pilarit		+ / +	
- sijainti / -ylä- ja alapääntasot		+ / +	
- sideaineen syöttömäärä / -syöttöpaine		+ / +	
- mahd. katkokset sideaineen syötössä		+	
- sideaine-erän määrä ja laatu		+	
- pilarin tekopäivä / -sää tekoaikana		+ / +	
- muut työnaikaiset valvontatoimenpiteet		+	
<b>4. SUUNNITTELULEIKKAUSLUJUUS (τ)</b>		100 (1 kk)	kPa
<b>5. STABILOITUVUUSTUTKIMUKSET</b>			
- laboratoriotutkimukset		+	+ tehty / - ei tehty
- tutkitut sideaineet / määrät / lujittumisajat / pisteet		TIEL. arkistossa	kpl / kpl / kpl / kpl
- valittu sideaine		CaO+YSe 1:1	
- valittu sideainemäärä		120 kg/m <sup>3</sup>	kg / m <sup>3</sup>
- valitulla sideaineella saatu lujuus (τ) labrassa		?	kPa
- koepilaroinnit		-	
- saavutettu lujuus (τ) koepilareissa valitulla side:lla		-	
<b>6. LAADUNVALVONTAMENETELMÄT</b>			
- pilarisiipikairaus / -pilarikairaus		2...4 / 6...10	kpl / tutkittava alue
- saavutettu lujuus (τ) tuotantopilareissa		-	
<b>7. MAAPERÄKUVAUS</b>			
- kerrospaksuudet (stabiloitavat kerrokset)		1 / 4...14	kuivakuori / 2. kr. / 3. kr. / ...
- maalajit		Sa	kuivakuori / 2. kr. / 3. kr. / ...
- leikkauslujuudet		- / 17...24	kuivakuori / 2. kr. / 3. kr. / ...
- vesipitoisuudet		60...110	%
- humuspitoisuudet		?	%
<b>8. RAKENTEIDEN SEURANTA</b>		-	



- plv 694...820
- Tilaja: Kaakkois-Suomen tiepiiri
- Suunnittelija: Kymen Viatek Oy / Reijo Hämäläinen ja Jari Nauska

<b>1. JOHDANTO</b>	<i>Tunniste:</i>	<i>"Kymen asema"</i>	
-suunniteltu / -rakennettu		1997 / 1997	
-syvästabilointia yhteensä		n. 30 000	jm
<b>2. PILAROINNIN KUVAUS</b>		<i>selitys:</i>	+ vaadittu / - ei mainintaa
- stabiloinnin käytön tavoite (painumat / stabiliteetti)		+ / +	
- pilarihalkaisija / - kk-väli		600 / 1,0	mm / m
- pilaripituus		2...16	m
- stabilointi saven alapintaan / määrämittaisena		+ / -	
- yksittäiset pilarit / -pilarointi lamelleina tms.		+ / +	
<b>3. PILAROINNIN TYÖTAVAT</b>			
<b>3.1 Nousunopeus</b>			
- nousunopeus ylös- / alaspäin / -kierrosnopeus		15 / 100 / -	mm/kierros / krs/min
<b>3.2 Syöttöpaine ja ilmamäärä</b>			
- syöttöpaine / -ilmamäärä		- / -	
<b>3.3 Sideaineen syöttömäärän tarkkuus</b>			
-keskim. sideainepoikkeama / -sall. yksittäispoikk.		±5	%/m
<b>3.4 Pilarien paikalleenmittaus ja sij.toleranssit</b>			
- nurkkien sallittu sij. poikkeama		0,30	m teoreettisesta
- yksittäisen pilarivälin sallittu sij. poikkeama		0,10	m teoreettisesta
- kaltevuuden enimmäispoikkeama		-	mm/m
<b>3.5 Työnaikainen dokumentointi ja valvonta</b>			
- pilarien tunniste / uudelleen tehdyt pilarit		+ / +	
- sijainti / -ylä- ja alapääntasot		+ / +	
- sideaineen syöttömäärä / -syöttöpaine		+ / -	
- mahd. katkokset sideaineen syötössä		+	
- sideaine-erän määrä ja laatu		+ / +	
- pilarin tekopäivä / -sää tekoaikana		+ / +	
- muut työnaikaiset valvontatoimenpiteet		-	
<b>4. SUUNNITTELULEIKKAUSLUJUUS (<math>\tau</math>)</b>		146	kPa
<b>5. STABILOITUVUUSTUTKIMUKSET</b>			
- laboratoriotutkimukset		+	+ tehty / - ei tehty
- tutkitut sideaineet / määrät / lujittumisajat / pisteet		7 / 1..3 / 2 / 4	kpl / kpl / kpl / kpl
- valittu sideaine		Lohjamix V15	
- valittu sideainemäärä		120	kg / m <sup>3</sup>
- valitulla sideaineella saatu lujuus ( $\tau$ ) labrassa		213	kPa
- koepilaroinnit		-	
- saavutettu lujuus ( $\tau$ ) koepilareissa valitulla side:lla		-	
<b>6. LAADUNVALVONTAMENETELMÄT</b>			
- pilarisiipikairaus / -pilarikairaus		5 / 15 (1 kk)	kpl / tutkittava alue
- saavutettu lujuus ( $\tau$ ) tuotantopilareissa		120..170 (z<4m)	
		90..100 (z>4m)	
<b>7. MAAPERÄKUVAUS</b>			
- kerrospaksuudet (stabiloitavat kerrokset)		1 / 3 / <12m	kuivakuori / 2. kr. / 3. kr. / ...
- maalajit		ljSa/ljSi/la..liSa	kuivakuori / 2. kr. / 3. kr. / ...
- leikkauslujuudet		-/11..23/2..10	kuivakuori / 2. kr. / 3. kr. / ...
- vesipitoisuudet		44..107	%
- humuspitoisuudet		0,8...6,2	%
<b>8. RAKENTEIDEN SEURANTA</b>		+ (työn aikana)	

- plv 6...200
- Tilaaja: Uudenmaan tiepiiri
- Suunnittelija: Viatek Oy / Ari Turunen ja Jari Hirvonen

1. JOHDANTO	Tunniste:	"Purola"	
-suunniteltu / -rakennettu		1997 / 1997-98	
-syvästabilointia yhteensä		n. 30 000	jm
<b>2. PILAROINNIN KUVAUS</b>		selitys:	+ vaadittu / - ei mainintaa
- stabiloinnin käytön tavoite (painumat / stabiliteetti)		+ / +	
- pilarihalkaisija / - kk-väli		600 / 0,7...1,5	mm / m
- pilaripituus		5...11	m
- stabilointi saven alapintaan / määrämittaisena		+ / -	
- yksittäiset pilarit / -pilarointi lamelleina tms.		+ / -	
<b>3. PILAROINNIN TYÖTAVAT</b>			
<b>3.1 Nousunopeus</b>			
- nousunopeus ylös- / alaspäin / -kierrosnopeus		20 / - / -	mm/kierros / krs/min
<b>3.2 Syöttöpaine ja ilmamäärä</b>			
- syöttöpaine / -ilmamäärä		- / -	
<b>3.3 Sideaineen syöttömäärän tarkkuus</b>			
-keskim. Sideainepoikkeama / -sall. yksittäispoikk.		±5 / ±10	%/m
<b>3.4 Pilarien paikalleenmittaus ja sij.toleranssit</b>			
- nurkkien sallittu sij. poikkeama		-	m teoreettisesta
- yksittäisen pilarivälin sallittu sij. poikkeama		0,20	m teoreettisesta
- kaltevuuden enimmäispoikkeama		20	mm/m
<b>3.5 Työnaikainen dokumentointi ja valvonta</b>			
- pilarien tunniste / uudelleen tehdyt pilarit		+ / +	
- sijainti / -ylä- ja alapääntasot		+ / +	
- sideaineen syöttömäärä / -syöttöpaine		+ / +	
- mahd. katkokset sideaineen syötössä		+	
- sideaine-erän määrä ja laatu		+ / +	
- pilarin tekopäivä / -sää tekoaikana		+ / +	
- muut työnaikaiset valvontatoimenpiteet		-	
- urakoitsija laatii laatusuunnitelman		-	
<b>4. SUUNNITTELULEIKKAUSLUJUUS (τ)</b>		100	kPa
<b>5. STABILOITUVUUSTUTKIMUKSET</b>			
- laboratoriotutkimukset		+	+ tehty / - ei tehty
- tutkitut sideaineet / määrät / lujittumisajat / pisteet		2 / 2 / 3 / 4	kpl / kpl / kpl / kpl
- valittu sideaine		Cao+YSe 1:1	
- valittu sideainemäärä		100	kg / m <sup>3</sup>
- valitulla sideaineella saatu lujuus (τ) labrassa		110...185 (30)	kPa (vrk)
- koepilaroinnit		-	
- saavutettu lujuus (τ) koepilareissa valitulla sidea:lla		-	
<b>6. LAADUNVALVONTAMENETELMÄT</b>			
- pilarisiipikairaus / -pilarikairaus / CPTU		2 / 6 tai >0,2%/-	kpl / tutkittava alue
- saav. lujuus (τ) tuotantopilareissa valitulla sidea:lla		85...>150 / 120...180 / -	kPa pilarisiipik./pilarik./CPTU
<b>7. MAAPERÄKUVAUS</b>			
- kerrospaksuudet (stabiloitavat kerrokset)		2 / 4...10	kuivakuori / 2. kr. / 3. kr. / ...
- maalajit		ljSa/liSa	kuivakuori / 2. kr. / 3. kr. / ...
- leikkauslujuudet		80 / 20...25	kuivakuori / 2. kr. / 3. kr. / ...
- vesipitoisuudet		40...70 / 60...100	
- humuspitoisuudet		?	
<b>8. RAKENTEIDEN SEURANTA</b>		-	



- VT1 plv 51000-51160, 54840-54903, 55047-55080, 55230-55253 ja 55480-55605, rampit E15/R1 - plv 470-523, E15/R3 - plv 320-343, E15/R4 - plv 157-205, E15/R5 - plv 277-320, Mt2 plv 560-603 ja plv 1017-1260 ja Pt12209
- Tilaaja: Turun tiepiiri  
paaluväleillä plv 75-103 ja 577-601
- Suunnittelija: Turun Viatek ja Viatek Oy / Jaakko Heikkilä, Antti Partanen ja Helena Korjus

1. JOHDANTO	Tunnis-	"VT1 Hu-Ha"	
te:			
-suunniteltu / -rakennettu	1998 / -		
-syvästabilointia yhteensä	n. 150 000		jm
<b>2. PILAROINNIN KUVAUS</b>		selitys:	+ vaadittu / - ei mainintaa
- stabiloinnin käytön tavoite (painumat / stabiliteetti)	+ / +		
- pilarihalkaisija / - kk-väli	600 / 0,8...1,5		mm / m
- pilaripituus	3...>15		m
- stabilointi saven alapintaan / määrämittäisenä	+ / +		
- yksittäiset pilarit / -pilarointi lamelleina tms.	+ / -		
<b>3. PILAROINNIN TYÖTAVAT</b>			
<b>3.1 Nousunopeus</b>			
- nousunopeus ylös- / alaspäin / -kierrosnopeus	15 / - / 65		mm/kierros / krs/min
<b>3.2 Syöttöpaine ja ilmamäärä</b>			
- syöttöpaine / -ilmamäärä	max. 300 / -		kPa
<b>3.3 Sideaineen syöttömäärän tarkkuus</b>			
-keskim. Sideainepoikkeama / -sall. yksittäispoikk.	2,5 / -		%/m
<b>3.4 Pilarien paikalleenmittaus ja sij.toleranssit</b>			
- nurkkien sallittu sij. poikkeama	± 0,30		m teoreettisesta
- yksittäisen pilarivälin sallittu sij. poikkeama	± 0,2		m teoreettisesta
- kaltevuuden enimmäispoikkeama	15		mm/m
<b>3.5 Työnaikainen dokumentointi ja valvonta</b>			
- pilarien tunniste / uudelleen tehdyt pilarit	+ / -		
- sijainti / -ylä- ja alapääntasot	+ / +		
- sideaineen syöttömäärä / -syöttöpaine	+ / +		
- mahd. katkokset sideaineen syötössä	-		
- sideaine-erän määrä ja laatu	-		
- pilarin tekopäivä / -sää tekoaikana	+ / -		
- muut työnaikaiset valvontatoimenpiteet	-		
- urakoitsija laatii laatusuunnitelman	+		
<b>4. SUUNNITTELULEIKKAUSLUJUUS (τ)</b>	120, 140 ja 150		kPa
<b>5. STABILOITUVUUSTUTKIMUKSET</b>			
- laboratoriotutkimukset	+		+ tehty / - ei tehty
- tutkitut sideaineet / määrät / lujittumisajat / pisteet	2 / 1 / 3 / >16		kpl / kpl / kpl / kpl
- valittu sideaine	Lohjamix K2		
- valittu sideainemäärä	150		kg / m <sup>3</sup>
- valitulla sideaineella saatu lujuus (τ) labrassa	150-310/155-285/245-295		kPa (vrk)
- koepilaroinnit	-		
- saavutettu lujuus (τ) koepilareissa valitulla side:lla	-		
<b>6. LAADUNVALVONTAMENETELMÄT</b>			
- pilarisiipikairaus / -pilarikairaus / CPTU	2 / 6 / -		kpl / tutkittava alue
- saav. lujuus (τ) tuotantopilareissa valitulla side:lla	-		kPa pilarisiipik./pilarik./CPTU
<b>7. MAAPERÄKUVAUS</b>			
- kerrospaksuudet (stabiloitavat kerrokset)	1,6...25		kuivakuori / 2. kr. / 3. kr. / ...
- maalajit	Sa		kuivakuori / 2. kr. / 3. kr. / ...
- leikkauslujuudet	9...24		kuivakuori / 2. kr. / 3. kr. / ...
- vesipitoisuudet	28...103		
- humuspitoisuudet	0...3,9		



- plv 180...253 ja 311...395
- Tilaaaja: Uudenmaan tiepiiri
- Suunnittelija: Viatek Oy / Harri Tanska ja Jari Hirvonen

1. JOHDANTO	Tunniste:	"Sundsbro"
-suunniteltu / -rakennettu	1997 / -	
-syvästabilointia yhteensä	n. 12 000	jm
<b>2. PILAROINNIN KUVAUS</b>	selitys: + vaadittu / - ei mainintaa	
- stabiloinnin käytön tavoite (painumat / stabiliteetti)	+ / +	
- pilarihalkaisija / - kk-väli	600 / 1,2...1,5	mm / m
- pilaripituus	2...16	m
- stabilointi saven alapintaan / määrämittaisena	+ / -	
- yksittäiset pilarit / -pilarointi lamelleina tms.	+ / -	
<b>3. PILAROINNIN TYÖTAVAT</b>		
<b>3.1 Nousunopeus</b>		
- nousunopeus ylös- / alaspäin / -kierrosnopeus	20 / - / -	mm/kierros / krs/min
<b>3.2 Syöttöpaine ja ilmamäärä</b>		
- syöttöpaine / -ilmamäärä	- / -	
<b>3.3 Sideaineen syöttömäärän tarkkuus</b>		
-keskim. sideainepoikkeama / -sall. yksittäispoikk.	±5 / -	%/m
<b>3.4 Pilarien paikalleenmittaus ja sij.toleranssit</b>		
- nurkkien sallittu sij. poikkeama	0,30	m teoreettisesta
- yksittäisen pilarivälin sallittu sij. poikkeama	0,10	m teoreettisesta
- kaltevuuden enimmäispoikkeama	-	mm/m
<b>3.5 Työnaikainen dokumentointi ja valvonta</b>		
- pilarien tunniste / uudelleen tehdyt pilarit	+ / +	
- sijainti / -ylä- ja alapääntasot	+ / +	
- sideaineen syöttömäärä / -syöttöpaine	+ / +	
- mahd. katkokset sideaineen syötössä	+	
- sideaine-erän määrä ja laatu	+ / +	
- pilarin tekopäivä / -sää tekoaikana	+ / +	
- muut työnaikaiset valvontatoimenpiteet	-	
- urakoitsija laatii laatusuunnitelman	-	
<b>4. SUUNNITTELULEIKKAUSLUJUUS (τ)</b>	100	kPa
<b>5. STABILOITUVUUSTUTKIMUKSET</b>		
- laboratoriotutkimukset	+	+ tehty / - ei tehty
- tutkitut sideaineet / määrät / lujittumisajat / pisteet	3 / 2 / 2 / 2	kpl / kpl / kpl / kpl
- valittu sideaine	Lohjamix V15	
- valittu sideainemäärä	100	kg / m <sup>3</sup>
- valitulla sideaineella saatu lujuus (τ) labrassa	94...353	kPa (vrk)
- koepilaroinnit	-	
- saavutettu lujuus (τ) koepilareissa valitulla sidea:lla	-	kPa
<b>6. LAADUNVALVONTAMENETELMÄT</b>		
- pilarisiipikairaus / -pilarikairaus / CPTU	1 % / 0,5 % / -	kpl / tutkittava alue
- saav. lujuus (τ) tuotantopilareissa valitulla sidea:lla	-	kPa pilarisiipik./pilarik./CPTU
<b>7. MAAPERÄKUVAUS</b>		
- kerrospaksuudet (stabiloitavat kerrokset)	1 / 5...14	kuivakuori / 2. kr. / 3. kr. / ...
- maalajit	Tv+Lj / liSa+ljSa	kuivakuori / 2. kr. / 3. kr. / ...
- leikkauslujuudet	6...13	kuivakuori / 2. kr. / 3. kr. / ...
- vesipitoisuudet	200..400 / 90..140	
- humuspitoisuudet	0...2,2	
<b>8. RAKENTEIDEN SEURANTA</b>	-	

## TIELAITOKSEN TUTKIMUKSIA JA SELVITYKSIÄ, POHJARAKENTAMINEN

- 1/1992 Pystyöjanauhojen laatuvaatimukset: laadunvalvonta ja testausmenetelmät  
TIEL 3200057
- 4/1992 Tiepenkereen holvautuminen, loppuraportti TIEL 3100005
- 46/1992 Syvästabiloinnin laadunvalvontaohje TIEL 3200099
- 81/1993 Vt 12 Veittostensuon syvästabilointi, tutkimusraportti TIEL 3200205
- 68/1993 Kuitukankaat tienrakennuksessa; Uudistetun VTT-GEO luokituksen mukaiset  
laatuvaatimukset TIEL 3200193
- 43/1995 Tukitelineperustusten kantokyky TIEL 3200319
- 44/1995 Kaltevan maanpinnan vaikutus perustusten kantokykyyn TIEL 3200320
- 45/1995 Maanvaraisten perustusten kantokyvyn laskenta elementtimenetelmällä  
TIEL 3200321
- 54/1995 Veittostensuon koerakenteen toiminta ja laadun arviointi TIEL 3200330
- 58/1995 Kestävän kehityksen tierakenteet - ideakilpailu TIEL 3200333
- 36/1996 Eriste- ja kevennysmateriaalien routakestävyys. Palaturve TIEL 3200404
- 39/1996 Pilari- ja massastabiloinnin tuotantotekniikka TIEL 3200407
- 77/1996 Syvästabilointi kehittyvänä pohjavahvistusmenetelmänä;  
International Conference IS-Tokio 96 TIEL 3200444
- 4/1997 Siltojen perustusten geoteknisen mitoituksen vertailu eurocodien  
ja kansallisten ohjeiden mukaan TIEL 3200452
- 5/1997 Tiepenkereen luonnonluiskan ja jäykän tukimuurirakenteen vertailevat  
mitoituskalkelmat eurocodien ja kansallisten ohjeiden mukaan  
TIEL 3200453
- 35/1997 Palaturpeen käyttö tierakenteessa TIEL 3200481
- 38/1997 Soraseinän geotekninen mitoitus TIEL 3200484
- 19/1998 Ilola - Sannainen pt 11863 painuman korjaus rengasrouherakenteella  
TIEL 3200510
- 47/1998 Tiepenkereiden vetolujitteiden toiminta käyttötilassa TIEL 3200539
- 2/1999 Syvästabilointi Tielaitoksen kohteissa. Osa 1: Toteutetut kohteet  
TIEL 3200540
- 3/1999 Syvästabilointi Tielaitoksen kohteissa. Osa 2: Laadunvalvontatutkimukset ja  
laadunvalvontatutkimusten vaikutus TIEL 3200541



POHJARAKENTAMISEN OHJEITA JA GEOTEKNISIÄ INFORMAATIOJULKAISUJA

	Geotekniset laskelmat TIEL 2180002
	Tiesuunnitelman pohjatutkimukset TIEL 2180003
2/1993	Massanvaihto TIEL 3200127
21/1993	Pengerpaalutus TIEL 3200147
24/1993	Tiegeotekniikan yleiset mitoitusperusteet TIEL 3200150
39/1994	Tiepenkereen siirtymärakenteet pehmeiköllä TIEL 3200248
42/1994	Nauhapystyöjitus TIEL 3200251
67/1994	Maanvarainen tiepenger savikolla, suunnitteluohje TIEL 3200276
79/1995	Tieleikkausten pohjatutkimukset TIEL 3200354
79/1996	Pohjanvahvistusmenetelmän valinta TIEL 3200446
18/1997	Syvästabiloinnin mitoitusohje TIEL 3200465
28/1997	Tien kevennysrakenteet TIEL 3200475
28/1998	Teiden pehmeikkötutkimukset TIEL 3200520
1/1999	Siltojen pohjatutkimukset TIEL 3200537